

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL



**Estimação da duração de cirurgias para suporte ao planeamento  
cirúrgico em hospitais públicos**

Rui Filipe Lopes Rodrigues

**Mestrado em Estatística e Investigação Operacional**  
Especialização em Estatística e Investigação Operacional

Dissertação orientada por:  
Professora Doutora Maria Eugénia Vasconcelos Captivo  
Professora Doutora Inês Marques Proença

2018



Antes de mais, gostaria de agradecer às professoras, Maria Eugénia Captivo e Inês Marques, por terem aceite o desafio de orientar a minha dissertação, por toda a disponibilidade e pelo incentivo e confiança depositada em mim.

De seguida, quero fazer um agradecimento especial à Catarina Mateus pela sua enorme paciência para comigo e pela ajuda preciosa que me deu, sem a qual não seria possível apresentar todo este trabalho.

Em terceiro lugar, agradeço também ao meu subdirector, João Amaral, e minha colega de trabalho, Vanessa Gomes, por toda a flexibilidade e suporte que me deram.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer, sinceramente, a todos os meus familiares e amigos que muito me incentivaram e apoiaram ao longo de todo este desafio.



# Resumo

---

O sector da saúde é um dos pilares do desenvolvimento das sociedades, pelo que assume extrema importância na vida da população, proporcionando um aumento constante da esperança média de vida e do nível de bem-estar.

Contudo, o ambiente económico que se viveu nos últimos anos tem levado a sucessivos cortes orçamentais no sector da saúde, pelo que se tornou cada vez mais necessária uma melhor racionalização de recursos e uma maior eficiência no uso dos meios disponíveis.

Neste sentido, a procura por melhores planos cirúrgicos tem vindo a ser muito desenvolvida, contribuindo para isto os estudos desenvolvidos na área da Investigação Operacional. No entanto, existe um factor que não tem sido tão abordado ao longo destes estudos, que diz respeito à consideração da estocasticidade da duração das cirurgias aquando da realização dos planos cirúrgicos.

Deste modo, este trabalho surge no âmbito de um projecto em parceria com um hospital público e foca-se no estudo da incerteza presente nestas durações para a obtenção de planos cirúrgicos mais robustos, desenvolvendo, para isso, um estudo realizado anteriormente por Catarina Mateus sobre planeamento cirúrgico, no âmbito da sua dissertação do mestrado em Estatística e Investigação Operacional, que é a base de trabalho desta dissertação.

É apresentado um método para a obtenção de estimativas de durações cirúrgicas e de tempos totais dos pacientes em salas de operação, através da regressão de um modelo linear, bem como a estimação de uma função distribuição (Log-Normal), para cada uma das durações mencionadas. Este estudo é realizado para a dimensão do problema considerada no trabalho referido anteriormente, no que respeita ao número de variáveis a considerar.

Inserindo estimativas das durações cirúrgicas e dos tempos totais dos pacientes em sala de operação nos modelos estudados no trabalho anterior para a marcação semanal de cirurgias electivas, os resultados mostram que estes modelos (VA – Versão Administração, VC – Versão Cirurgiões e VM – Versão Mista) obtêm, no geral, bons resultados ao nível de cirurgias marcadas, tendo em conta os seus objectivos. Uma comparação entre as estimativas obtidas pelo método aqui adoptado e pelo método utilizado no estudo base, que considera apenas as médias das durações das cirurgias e dos tempos totais dos pacientes em sala de operação de cada código de procedimento cirúrgico, é realizada no final do trabalho. Esta comparação contempla, para cada tipo de duração mencionada, a média e o desvio padrão das diferenças entre as estimativas obtidas por cada um dos métodos e o tempo efectivamente incorrido pelo hospital aquando da realização das cirurgias correspondentes.

É também realizada uma análise de robustez ao plano cirúrgico obtido com recurso ao método de estimação de durações desenvolvido nesta dissertação, que inclui também a percentagem de alteração média das estimativas obtidas por cada um dos estudos realizados face aos tempos reais.

Através destas análises e comparações com o estudo base, verificam-se alguns casos em que os resultados obtidos são melhores através do método da regressão linear e outros através do método utilizado no trabalho original.

Por fim, são dadas algumas orientações de caminhos futuros a percorrer para a obtenção de estimativas melhores e mais precisas para as durações, quer cirúrgicas, quer do tempo total do paciente em sala de operação.

**Palavras-Chave:** Tempos cirúrgicos, Tempos totais dos pacientes em sala de operação, Agrupamento de códigos de procedimento, Modelo de regressão linear, Distribuição Log-Normal



# Abstract

---

The health sector is one of the cornerstones of the development of societies and is therefore of paramount importance in the lives of the population, providing a steady increase in the average life expectancy and level of well-being.

However, the economic environment lived in the last years resulted in successive budget cuts in the health sector, making it increasingly necessary a better rationalization of resources and an improving efficiency in the use of available resources.

In this sense, the search for better surgical plans has been very developed, contributing to this, the studies developed in the Operational Research area. However, there is a factor that has been not so much approached during these studies, which refers to the stochasticity of the duration of the surgeries during the realization of the surgical plans.

Thus, this work arises from a project in partnership with a public hospital and focuses on the study of the uncertainty present in these durations to obtain more robust surgical plans, developing, for this, a study previously performed by Catarina Mateus on surgical planning, within the scope of her dissertation on the Master's Degree in Statistics and Operational Research, which is the basis of this dissertation.

The study presents a method for obtaining estimates of surgical durations and total times of patients in operating rooms, through the regression of a linear model, as well as the estimation of a distribution function (Log-Normal), for each one of mentioned durations. This study is carried out for the dimension of the problem considered in the previously mentioned work, in what concerns to the number of variables to be considered.

Inserting estimates of the surgical durations and total time of patients in operating room in the models studied in the previous work for the weekly marking of elective surgeries, the results show that these models (AV – Administration Version, SV – Surgeons Version and MV – Mixed Version) obtain, in general, good results in the level of marked surgeries, taking into account its objectives. One comparasion between the estimates obtained by the method adopted here and by the method used in the basis work, which only consideres the averages of the surgeries's durations and of the total duration of the patients in the operating room of each code of cirurgical procedure, is carried out at the end of the work. This compararion contemplates, for each type of mentioned duration, the average and the standard deviation of the differences between the estimates obtained by each one of the methods and the time actually incurred by the hospital when performing the corresponding surgeries.

An analysis of robustness to the surgical plane obtained using the duration estimation method developed in this dissertation is also performed, which also includes the percentage of average change in the estimates obtained by each of the studies performed in relation to the actual times.

Through these analyzes and comparisons with the base study, there are some cases in which the obtained results are better through the method of linear regression and others through the method used in the original work.

Finally, some guidelines are given for future paths to be taken in order to obtain better and more accurate estimates to the durations, whether surgical or total patient time in the operating room.

**Key words:** Surgical times, Total time of patients in operating room, Procedure codes grouping, Linear regression model, Log-Normal distribution





# Índice

---

Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Algoritmos .....	xiii
1. Introdução.....	1
2. Revisão de Literatura.....	5
2.1 Família de distribuições para a duração cirúrgica .....	5
2.2 Modelos estatísticos para identificar factores críticos.....	6
2.3 Modelos para lidar com casos de pequenas amostras .....	8
2.4 Uso de estimativas dos cirurgiões .....	9
2.5 Consideração de mais do que uma abordagem .....	10
2.6 Conclusões .....	10
3. Metodologia .....	13
3.1 Processo de agrupamento dos códigos de procedimento .....	13
3.1.1 Agrupamento 1.A .....	14
3.1.2 Agrupamento 1.B .....	16
3.1.3 Agrupamento 1.C .....	16
3.1.4 Agrupamento 1.D .....	16
3.1.5 Agrupamento 2 .....	16
3.1.6 Agrupamento 3.....	17
3.2 Formulação do modelo de regressão.....	17
3.3 Consideração de uma família de distribuições .....	23
4. Resultados .....	25
4.1 Processo de agrupamento dos códigos de procedimento .....	25
4.2 Formulação do modelo de regressão.....	26
4.2.1 Modelo de estimação dos tempos cirúrgicos .....	26
4.2.2 Modelo de estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação.....	30
4.3 Comparação das estimativas obtidas pelo modelo de regressão com as obtidas pelo estudo base .....	34
4.4 Análise de robustez do plano cirúrgico .....	37
4.5 Consideração de uma família de distribuições.....	40
5. Conclusões .....	43
Referências bibliográficas .....	45



# Lista de Figuras

---

Figura 3.1 – Esquema geral do processo de agrupamento dos códigos de procedimento. ....	15
Figura 3.2 – Esquema geral da metodologia adoptada para a obtenção, em cada caso de estudo, do modelo mais ajustado aos dados existentes. ....	22
Figura 4.1 – <i>Output</i> obtido com a realização da regressão <i>Forward Stepwise</i> . Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo da cirurgia de cada paciente. ....	27
Figura 4.2 – <i>Output</i> obtido com a realização da regressão <i>Backward Stepwise</i> . Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo da cirurgia de cada paciente. ....	27
Figura 4.3 – Representação gráfica para a verificação da homocedasticidade do erro presente no modelo de estimação do tempo da cirurgia de cada paciente. ....	28
Figura 4.4 – Representações gráficas, <i>qqPlot</i> e <i>boxplot</i> , para a verificação da normalidade do erro presente no modelo de estimação do tempo da cirurgia de cada paciente. ....	28
Figura 4.5 – <i>Output</i> obtido com a realização do teste de Durbin-Watson aos erros do modelo de estimação do tempo da cirurgia de cada paciente. ....	29
Figura 4.6 – Auxílio gráfico para a determinação do valor de $\lambda$ na transformação <i>Box-Cox</i> . ....	29
Figura 4.7 – <i>Output</i> obtido com a realização da regressão <i>Forward Stepwise</i> . Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo total do doente em sala de operação. ....	31
Figura 4.8 – <i>Output</i> obtido com a realização da regressão <i>Backward Stepwise</i> . Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo total do doente em sala de operação. ....	31
Figura 4.9 – Representação gráfica para a verificação da homocedasticidade do erro presente no modelo de estimação do tempo total do doente em sala de operação. ....	32
Figura 4.10 – Representações gráficas, <i>qqPlot</i> e <i>boxplot</i> , para a verificação da normalidade do erro presente no modelo de estimação do tempo total do doente em sala de operação. ....	32
Figura 4.11 – <i>Output</i> obtido com a realização do teste de Durbin-Watson aos erros do modelo de estimação do tempo total do doente em sala de operação. ....	33
Figura 4.12 – Auxílio gráfico para a determinação do valor de $\lambda$ na transformação <i>Box-Cox</i> . ....	33



# Lista de Tabelas

---

Tabela 4.1 – Número de categorias da variável referente aos grupos de códigos de procedimento das cirurgias, no final de cada passo dos diferentes processos de agrupamento adoptados. ....	25
Tabela 4.2 – Número de grupos de códigos de procedimento das cirurgias com menos de uma dezena de casos registados pelo hospital, no final de cada passo dos diferentes processos de agrupamento adoptados. ....	25
Tabela 4.3 – Percentagens de redução do número de grupos de códigos de procedimento e percentagens de grupos com menos de uma dezena de casos registados. ....	26
Tabela 4.4 – Correlações existentes entre possíveis variáveis explicativas das durações cirúrgicas. ...	26
Tabela 4.5 – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.A. ....	34
Tabela 4.6 – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.B. ....	35
Tabela 4.7 – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.C. ....	35
Tabela 4.8 – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.D. ....	35
Tabela 4.9 – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 2. ....	36
Tabela 4.10 – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 3. ....	36
Tabela 4.11 - Número total de cirurgias marcadas em cada instância, com e sem a consideração das especialidades C3b e C3c, pelo hospital e por cada versão dos estudos desenvolvidos. ....	38
Tabela 4.12 - Número de cirurgias marcadas em cada Versão e instância, número de cirurgias em comum com o registo do hospital e respectiva percentagem. ....	38
Tabela 4.13 – Número de cirurgias com duração estimada maior, menor ou igual à real, tanto nos casos TC como TTDS, de acordo com o presente método de estimação, e percentagem de alteração média dos tempos estimados pelo estudo base (% Alt base) e estudo presente (% Alt) face aos tempos reais. ....	39
Tabela 4.14 - Correlação existente entre os tempos cirúrgicos (TC) e as suas possíveis variáveis explicativas. ....	40
Tabela 4.15 - Correlação existente entre os tempos totais dos pacientes em sala de operação (TTDS) e as suas possíveis variáveis explicativas. ....	40



# Lista de Algoritmos

---

<b>Algoritmo 3.1</b> – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos cirúrgicos através da regressão Forward Stepwise. ....	19
<b>Algoritmo 3.2</b> – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos cirúrgicos através da regressão Backward Stepwise.....	19
<b>Algoritmo 3.3</b> – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação através da regressão Forward Stepwise.....	20
<b>Algoritmo 3.4</b> – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação através da regressão Backward Stepwise.....	20





# 1. Introdução

---

O sector da saúde é um sector de grande importância e peso na vida social e económica dos países, uma vez que influencia directamente o nível de bem-estar e qualidade de vida das pessoas, permitindo o progresso e desenvolvimento das sociedades.

No entanto, este sector consome recursos muito caros (segundo dados da PORDATA, ao longo dos últimos anos, a despesa na saúde situa-se entre os 8% e os 10% do PIB português), sendo a unidade cirúrgica uma das maiores consumidoras destes recursos num hospital e também um serviço com implicações directas na qualidade de serviço de outras unidades hospitalares como, por exemplo, a unidade de recuperação, uma vez que as condições de recuperação exigidas por paciente dependem da cirurgia que este tenha realizado.

Apesar disto, segundo estatísticas da PORDATA, em Portugal, ao longo dos anos, não têm sido atribuídos volumes constantes do orçamento a este sector. O pico foi registado em 2012 quando foi atribuído ao sector da saúde um volume de mais de 10 mil e 400 milhões de euros, reduzindo para a ordem dos 8 mil e 700 mil milhões de euros em 2017, o que tem levando à necessidade de racionalização de recursos e de uma maior eficiência no uso dos meios disponíveis e na performance de cada serviço.

Deste modo, o departamento cirúrgico é prioritário no que respeita ao melhoramento de eficiência. Uma maneira de racionalizar é através do desenvolvimento de melhores planos cirúrgicos, que resultem num uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

Um dos principais problemas dos hospitais é o uso ineficiente das suas salas de operações que resulta do escalonamento que é realizado para as cirurgias, originando muitas vezes atrasos ou mesmo cancelamentos de procedimentos cirúrgicos, o que tem o seu custo, tanto para os pacientes em causa, como para o próprio hospital.

No entanto, o escalonamento de cirurgias pode ser bastante complexo por diversas razões, entre elas: prioridades conflituosas, incerteza nas durações cirúrgicas, incerteza no tempo de recuperação dos pacientes e a capacidade limitada do bloco operatório.

Este trabalho surge, então, no âmbito de um projecto em parceria com um hospital público. Foca-se na tentativa de contornar um dos problemas atrás enunciados, a incerteza nas durações cirúrgicas. Deste modo, pretende-se estudar e prever, de certa maneira, a variabilidade existente nestas, para se poder obter um melhor escalonamento das cirurgias electivas e uma redução de custos para o hospital, evitando atrasos e cancelamentos de procedimentos cirúrgicos, através do desenvolvimento do trabalho já realizado na dissertação de Catarina Mateus [1], cujos resultados estão expostos em Mateus et al. [2]. O foco do estudo [2] foi a análise do plano cirúrgico no que respeita à selecção dos pacientes a serem agendados semanalmente para a respectiva cirurgia.

A racionalização de recursos e eficiência no uso dos meios disponíveis é assim, à semelhança do que se observa actualmente no sector da saúde, um tema de grande relevância para o hospital em estudo, traduzindo-se na necessidade de realização de estudos cujos objectivos são, precisamente, os desta dissertação.

Ao longo dos últimos anos, têm-se desenvolvido modelos para melhor estimar durações cirúrgicas, como modelos de regressão, e ajustadas distribuições como a Normal e Log-Normal. Estimando os efeitos dos factores significativos, podem ser desenvolvidos modelos que melhor se ajustem aos dados, permitindo uma melhor estimação dos tempos de procedimentos cirúrgicos.

O objectivo desta dissertação é, deste modo, a obtenção de uma boa estimativa para a duração dos procedimentos cirúrgicos realizados por este hospital e para os tempos totais dos doentes em sala de operação. Pretende-se contornar, de algum modo, o problema da estocasticidade destes tempos e realizar

planos cirúrgicos mais robustos, incorporando estas estimativas nas heurísticas desenvolvidas através do estudo realizado por Mateus et al. [2], onde se faz o planeamento das cirurgias considerando as durações determinísticas.

Para se perceber melhor o estudo base [2] que se pretende desenvolver, é realizado, de seguida, um resumo do primeiro.

O hospital em estudo é constituído por um bloco operatório que contém 11 salas utilizáveis por 11 especialidades ou serviços, sendo uma destas salas apenas dedicada a cirurgias urgentes. Estas especialidades são: Cirurgia 3B (C3b), Cirurgia 3C (C3c), Cirurgia Maxilo-Facial (CMF), Cirurgia Pediátrica (CPD), Cirurgia Plástica (CPL), Ginecologia (GIN), Oftalmologia (OFT), Ortopedia A (ORTa), Ortopedia B (ORTb), Otorrinolaringologia (OTO) e Urologia (URO).

O serviço cirúrgico do hospital está aberto todos os dias úteis da semana e encontra-se dividido em dois turnos: manhã e tarde. Em cada dia da semana e turno, é atribuída a cada sala uma das especialidades de acordo com um plano previamente realizado (MSS) para o horizonte de planeamento de uma semana.

Em Mateus et al. [2], desenvolvem-se três versões para o problema da obtenção de planos cirúrgicos semanais, mais eficientes do que os existentes no hospital. Estas três versões são: Versão Administração (VA), Versão Cirurgiões (VC) e Versão Mista (VM).

- VA: tenta atingir os objectivos definidos pelo Ministério da Saúde, seleccionando os pacientes de acordo com o seu nível de prioridade e a sua antiguidade na lista de espera.
- VC: selecciona os pacientes para cirurgia pela ordem inversa de entrada na lista de espera, reflectindo o facto dos cirurgiões se lembrarem melhor dos doentes que observaram há menos tempo. Nesta versão, o problema é dividido em dois: turno da manhã e turno da tarde.
  - Turno da manhã: agenda os pacientes mais recentes em lista de espera, mas seguindo as mesmas restrições da Versão Administração no que respeita a horários de trabalho.
  - Turno da tarde: maximiza o número de cirurgias realizadas, no âmbito de um programa de incentivo à redução das listas de espera, não existindo limites de horário para os cirurgiões e considerando como prioritárias as cirurgias a realizar aos pacientes que entraram na lista de espera há menos tempo.
- VM: o problema é, também, dividido em turno da manhã e turno da tarde.
  - Turno da manhã: aplicada a Versão Administração.
  - Turno da tarde: aplicado o problema do turno da tarde da Versão Cirurgiões.

Para todas estas versões, são desenvolvidas duas heurísticas construtivas que diferem quanto ao critério de optimização e condicionantes a aplicar em cada uma das versões. Após a obtenção de soluções admissíveis, são aplicadas heurísticas de melhoramento, de modo a conseguir soluções mais próximas do óptimo.

O primeiro passo, de ambas as heurísticas construtivas, consiste na marcação das cirurgias urgentes diferidas, com data limite na segunda-feira, para um bloco de tempo disponível nesse dia. Para a marcação das restantes cirurgias, é calculado um coeficiente, que depende da versão do problema abordada e do turno considerado, sendo as cirurgias ordenadas por ordem decrescente deste coeficiente e marcadas por essa ordem, nos blocos de tempo disponíveis. O que difere nas duas heurísticas construtivas é o coeficiente utilizado em cada caso, uma vez que, na segunda heurística construtiva (HC2), este resulta duma divisão do coeficiente considerado na primeira heurística construtiva (HC1) pela duração estimada da cirurgia.

É de referir que, em [2], as estimativas dos tempos cirúrgicos e dos tempos totais dos pacientes em sala de operação são obtidas através do cálculo da média destas durações nos procedimentos cirúrgicos de cada um dos códigos de procedimento.

Após a obtenção de soluções admissíveis, são aplicadas heurísticas de melhoramento, de acordo com a versão e turno em questão, que se baseiam em 4 grupos de conceitos de vizinhança criados para este problema:

1. Reposicionamento/troca de cirurgias de sala e/ou turno e/ou dia;
2. Marcação de cirurgias presentes na lista de espera em espaços livres do plano cirúrgico;
3. Troca de cirurgia(s) marcada(s) por cirurgia(s) em lista de espera.
4. Reposicionamento de cirurgias de modo a serem realizadas mais cirurgias no início da semana.

Após uma análise dos resultados obtidos com estas heurísticas (construtivas e de melhoramento) comparativamente à solução óptima do problema do planeamento cirúrgico semanal, para cada versão e turno considerados, conclui-se que:

- Para a Versão Administração não há nenhuma heurística construtiva, 1 ou 2, (procedida de heurísticas de melhoramento) que consiga, constantemente, os resultados mais próximos do óptimo, pelo que o planeamento cirúrgico para cada especialidade é retirado dos melhores resultados obtidos dos dois casos, sendo estes de muito boa qualidade tendo em conta o número de cirurgias marcadas e o GAP heurístico médio. Para além disto, o tempo computacional necessário para chegar a estas soluções é bastante reduzido.
- Para a Versão Cirurgiões, tanto para os turnos da manhã como para os turnos da tarde, os melhores resultados são obtidos através da aplicação da heurística construtiva 2, e consequentes heurísticas de melhoramento, sendo que os conceitos de vizinhança aplicados a cada um dos turnos não são os mesmos, seja por causa de tempos computacionais gastos excessivamente ou por causa dos objectivos e restrições de cada turno. É, então, obtido o planeamento cirúrgico para cada especialidade de acordo com estas heurísticas, sendo que para várias especialidades a solução obtida é óptima.
- Para os turnos da manhã da Versão Mista, são aplicadas as heurísticas de melhoramento às soluções obtidas por ambas as heurísticas construtivas, sendo o planeamento cirúrgico obtido dos melhores resultados conseguidos entre os dois métodos. Para os turnos da tarde, aplicam-se as heurísticas de melhoramento às soluções obtidas pela HC2.
- No geral, não é possível concluir pela preferência de uma versão do problema apenas, porque comparando as três existentes, os GAPs médios obtidos não variam muito e as condições existentes em cada uma delas são diferentes, no sentido em que a Versão Administração considera da mesma forma os turnos da manhã e da tarde e as restantes duas versões fazem distinção a este nível.
- As heurísticas desenvolvidas para as diferentes versões seguem os respectivos critérios de optimização e obtêm bons resultados, tanto ao nível de cirurgias marcadas e GAPs (em relação à solução óptima) obtidos, como ao nível da ocupação do bloco operatório, no sentido em que estas heurísticas permitem encontrar soluções eficientes no uso das salas do bloco.

Para além disto, é também realizada uma análise de robustez aos planos cirúrgicos obtidos através destas heurísticas, para cada uma das versões e instâncias. Ao substituir as estimativas das durações pelas durações reais presentes no registo do hospital, conclui-se que muitas das cirurgias excedem a sua duração estimada. Tal situação leva, muitas vezes, ao cancelamento de cirurgias, uma vez que se excede o horário de funcionamento do bloco operatório.

Uma vez apresentado o resumo geral do trabalho desenvolvido por Mateus et al. [2] (daqui em diante, também designado por trabalho base), é explicitada a divisão realizada no presente trabalho para se tentar atingir o objectivo estipulado, e já mencionado, para este estudo.

Esta dissertação encontra-se, então, dividida em 5 capítulos. O primeiro diz respeito à presente introdução, onde se pretende dar uma noção geral do trabalho que se pretende desenvolver e dos seus objectivos.

O segundo capítulo apresenta uma revisão de literatura, onde são discutidos alguns estudos, publicados na literatura, que procuram boas estimativas para as durações dos procedimentos cirúrgicos.

O terceiro capítulo explora a metodologia seguida na realização deste trabalho, com vista ao alcance dos objectivos definidos para esta dissertação.

O quarto capítulo expõe os resultados estatísticos, analisando-os e comparando-os com as estimativas obtidas por Mateus et al. [2]. Para além disto, apresenta também uma análise de robustez do plano cirúrgico obtido, aquando da introdução das novas estimativas das durações cirúrgicas e tempos totais dos pacientes em sala de operação nos modelos já desenvolvidos em [2].

Por fim, o quinto capítulo apresenta conclusões do trabalho realizado e aponta para possíveis linhas orientadoras de trabalho futuro.

## 2. Revisão de Literatura

---

Uma vez que a duração das cirurgias envolve incerteza, a consideração de estocasticidade ao invés de tempos determinísticos permite maior robustez no planeamento de escalas semanais de serviços cirúrgicos. Daí a grande importância que se tem dado à previsão de durações cirúrgicas, uma vez que os métodos actuais de estimação dos tempos cirúrgicos acabam, muitas vezes, por permitir a existência de marcações de cirurgias a mais ou a menos do que é permitido pelo tempo disponível no bloco operatório dos hospitais.

Apesar de esta ser uma área ainda não muito abordada na literatura, já começam a surgir investigadores neste tema que têm vindo a tirar conclusões importantes e relevantes quanto à sua consideração para o uso eficiente e robusto dos recursos operatórios dos hospitais, através da consideração de, por exemplo, modelos estatísticos para a estimação de tempos cirúrgicos.

Deste modo, no que respeita à estimação de durações cirúrgicas, existem quatro tipos principais de abordagens realizadas ao longo do tempo por vários autores. A primeira consiste na tentativa de encontrar o melhor ajustamento entre famílias de distribuições (as mais frequentemente utilizadas são a Normal e Log-Normal), podendo deste modo caracterizar-se também a variabilidade presente nos procedimentos cirúrgicos. A segunda abordagem consiste na criação de modelos estatísticos para estimar durações cirúrgicas e identificar factores críticos que influenciam a variabilidade presente nestas. A terceira foca-se no desenvolvimento de modelos para lidar com casos de pequenas amostras. Por fim, a quarta abordagem consiste no exame da qualidade das estimativas da duração das cirurgias providenciadas pelos cirurgiões.

Deste modo, este capítulo divide-se em seis secções, sendo as quatro primeiras referentes à apresentação de trabalhos desenvolvidos na literatura, em cada um destes quatro tipos de abordagens, a quinta referente à apresentação de um caso que considera mais do que uma abordagem e a última referente à apresentação de algumas conclusões.

### 2.1 Família de distribuições para a duração cirúrgica

De entre os estudos realizados de acordo com a primeira abordagem, Strum et al. [3] tentam determinar rigorosamente qual a distribuição que melhor se ajusta aos tempos cirúrgicos registados no hospital, se a Normal ou a Log-Normal, uma vez que estas são as distribuições constantemente assumidas em trabalhos precedentes. Recorrem então ao teste Shapiro-Wilk para testar o ajustamento de ambas as distribuições aos dados disponíveis, concluindo que o ajustamento do modelo Log-Normal é superior ao do modelo Normal para um grande e diversificado conjunto de cirurgias.

De acordo com os autores, a rejeição (falsa) do modelo Log-Normal pode ocorrer em certas condições que incluem arredondamentos de erros em tempos de procedimentos, amostras de grandes dimensões, outliers não ajustados e populações heterogéneas de tempos de procedimentos cirúrgicos.

De facto, são vários os autores que corroboram a existência de um melhor ajustamento da distribuição Log-Normal aos dados referentes a durações cirúrgicas. May et al. [4] comparam a distribuição Normal com a melhor de quatro alternativas Log-Normal (a Log-Normal com dois parâmetros e 3 possíveis Log-Normal com três parâmetros), mostrando que, no geral, o modelo Log-Normal se ajusta melhor aos seus dados do que o modelo Normal.

Stepaniak et al. [5] comparam, igualmente, o ajustamento da distribuição Normal com o das distribuições Log-Normal com dois e três parâmetros para as durações de cirurgias de uma série de combinações Current Procedural Terminology (CPT) - Anestesia, incluindo possíveis efeitos do cirurgião. Para casos com muito poucas observações, investigam se o uso de “palpites” a priori, feitos pelos cirurgiões, ajudam a obter melhores estimativas das durações.

As conclusões obtidas pelos autores revelam que as estimativas a priori fornecidas pelos cirurgiões são úteis para melhorar as estimativas das durações de CPTs com menos de 10 observações e que a distribuição Log-Normal com 3 parâmetros providencia os melhores resultados para as durações de cirurgias de combinações CPT-Anestesia, quando segmentadas pelo factor cirurgião.

Strum et al. [6] estudam modelos individuais e agregados para a estimação de durações de cirurgias com dois códigos de procedimentos. Os modelos individuais ajustam uma distribuição matemática para cirurgias segmentadas por “dual CPT” (cada dois códigos de procedimentos), tipo de anestesia ou outros factores num subconjunto dos dados. Deste modo, permite-se que cada procedimento dual tenha a sua própria distribuição de probabilidade, sendo esta modelação mais útil se existirem razões para acreditar que diferentes procedimentos duais devem ter modelos diferentes. Já os modelos agregados assumem implicitamente que a variabilidade em cada um dos subconjuntos de dados é similar, usando os registos de todos os procedimentos cirúrgicos duais para obter estimativas de durações dos mesmos.

Os autores concluem que a duração deste tipo de cirurgias é melhor modelada pela distribuição Log-Normal do que pela Normal. Para além disto, os resultados do estudo indicam também que, para melhorar as estimativas de durações deste tipo de cirurgias, que se realizam com pouca frequência, pode ser bom considerar, simplesmente, a duração do procedimento mais longo e o tipo de anestesia.

No entanto, apesar de na literatura o modelo Log-Normal ser proposto como um método adequado para representar a duração de operações, Joustra et al. [7] acreditam que este método não é o óptimo, especialmente para durações mais longas, apesar de as diferenças não serem muito grandes. Para os autores, a distribuição Burr, ou o seu caso especial, a distribuição Log-Logística, aparenta obter resultados um pouco melhores.

Também Luangkesorn e Eren-Doğu [8] desenvolvem um método que determina uma distribuição de probabilidade para um caso cirúrgico específico. Aplicando métodos de Monte Carlo para cadeias de Markov, combinam julgamentos de experts (cirurgiões) e os dados históricos disponíveis para desenvolverem estimativas de distribuição que tenham melhor desempenho do que os métodos existentes na literatura usando apenas dados históricos.

## **2.2 Modelos estatísticos para identificar factores críticos**

De entre os estudos realizados de acordo com a segunda abordagem, Hosseini et al. [9] desenvolvem um método híbrido para prever durações cirúrgicas que consiste em dois passos: 1º Classificação e 2º Previsão. No estudo realizado, o código de procedimento indicou ser um factor muito significativo no tempo cirúrgico. O registo inclui 2000 códigos de procedimento diferentes durante o período em análise, sendo alguns deles bastante raros e outros bastante similares em termos de duração. No primeiro passo do método (Classificação), agrupam-se estes códigos de modo a criar uma nova variável no modelo de regressão, baseada nos códigos de procedimento agrupados, e reduzir o número de categorias deste factor através de um algoritmo heurístico chamado CART. Este agrupamento é feito com base nas durações dos tempos em sala de operação. Já no segundo passo do método (Previsão), os autores desenvolvem dois modelos de regressão para a previsão de durações de procedimentos

cirúrgicos usando a regressão linear dos mínimos quadrados com factores principais incluídos (LIN) e a regressão *stepwise* (STEP) com a inclusão de factores principais e interacções de segundo nível.

Os factores que estavam registados no sistema do hospital e que mostraram ter impacto nos tempos cirúrgicos são a especialidade, a prioridade, a classe ASA (American Society of Anesthesiologists score – avaliação pré operativa do estado físico do paciente), a idade, “encounter class” e o código do procedimento.

Por fim, os modelos desenvolvidos foram avaliados, comparando os resultados de previsão com o valor registado no sistema para o respectivo tempo de procedimento. Este valor resulta num ajustamento feito ao valor da média móvel que é reflectido pela situação clínica do paciente e pela complexidade da cirurgia. Concluem assim que a regressão *stepwise* é melhor a prever durações do que a LIN e que qualquer uma supera o valor fornecido pelo sistema.

Também Shukla et al. [10] se dedicam ao estudo de modelos para prever durações cirúrgicas, pelo que desenvolvem quatro tipos de modelos baseados em dados que variam nos factores considerados: procedimento; procedimento e cirurgia; procedimento e complexidade do caso; procedimento, complexidade do caso e cirurgia.

Os autores comparam estes quatro modelos com estimativas subjectivas, fornecidas por cirurgiões, e concluem que os modelos prevêem melhor as durações dos procedimentos cirúrgicos. Os modelos mais precisos são o quarto e o terceiro, respectivamente, denotando a maior importância da complexidade dos casos sobre as diferenças entre cirurgiões.

Por outro lado, Kayis et al. [11] investigam se factores temporais e operacionais poderiam ser utilizados para melhorar as estimativas das durações cirúrgicas obtidas pelo método que chamam de “Últimos 5 Casos”. Do lado operacional, são considerados factores como a “ordem” da cirurgia, a sala de operação e o pessoal cirúrgico. Do lado temporal, são considerados o dia da semana, mês, ano e período do dia.

Deste modo, os autores apresentam um método ajustado baseado na combinação destes factores temporais e operacionais, incluindo ainda informação referente ao cirurgião, ao facto de dada cirurgia ser ou não um caso novo em termos de procedimento realizado e ao tipo de permanência do paciente no hospital. De forma a perceber o efeito de cada um destes factores, é então construído um modelo de regressão, concluindo assim que alguns indicadores operacionais e temporais são, de facto, significantes na previsão das durações cirúrgicas. Os factores mais importantes são: se o procedimento é realizado para um paciente ambulatorio (ou seja, que não exige internamento), se é um caso novo e se o procedimento começa depois das 17 horas.

Strum et al. [12], por seu lado, estudam a variabilidade cirúrgica e diferenças entre cirurgiões e procuram factores demográficos que possam explicar variabilidade adicional nos tempos cirúrgicos. Os autores descrevem a variabilidade e identificam os factores associados que podem ser previstos, controlados ou alterados para melhorar o plano cirúrgico e reduzir os custos dos serviços operatórios.

Dentro de cada código CPT, é ajustado um modelo linear de efeitos principais com cinco factores, onde o cirurgião, o tipo de anestesia, a classe de risco ASA e género são tratados como variáveis categóricas e a idade como uma variável contínua. Para além disto, é ainda examinada uma ANOVA de seis factores com a referência do anestesista adicionada aos cinco factores atrás mencionados. O tipo de anestesia, idade, género e classe de risco ASA são considerados factores que afectam a variabilidade nos tempos de procedimentos cirúrgicos.

A evidência deste estudo sugere que os tempos de procedimentos específicos do cirurgião e o conhecimento das fontes da variabilidade cirúrgica são necessários para melhorar modelações e assim também o plano cirúrgico.

Do mesmo modo, também Edelman et al. [13] se preocupam em melhorar a precisão das estimativas das durações cirúrgicas, através de modelos de regressão linear, de modo a obter uma utilização mais eficiente das salas de operação. Testam, assim, todos os possíveis modelos de regressão

linear para a estimação destas durações, usando a estimativa da única parte do tempo da cirurgia que o cirurgião pode controlar, em combinação com outras variáveis independentes disponíveis. Os autores concluem que as durações cirúrgicas são melhor estimadas através de um modelo de regressão linear baseado na estimativa do tempo controlado pelo cirurgião, tipo de operação cirúrgica, classificação do estado físico do paciente e tipo de anestesia.

Para além destes autores, Burgette et al. [14] desenvolvem e validam uma metodologia para determinar tempos cirúrgicos de maneira mais precisa, usando dados disponíveis associados a registos de anestésias e salas de operação.

Deste modo, os autores estimam os tempos cirúrgicos através de modelos de regressão mediana linear por partes, concluindo que os resultados obtidos são bons e que tempos associados à anestesia e sala de operação podem ser usados para tal estimação.

Dedicando-se à estimação dos tempos em sala de operação, Eijk et al. [15] usam modelos lineares mistos para determinar a variabilidade total destes tempos tendo em conta o tipo de procedimento, cirurgiões e anestésistas. Concluem assim que, os cirurgiões são responsáveis por uma pequena parte da variabilidade dos tempos em sala de operação, comparativamente com o tipo de procedimento, e que as diferenças entre anestésistas têm um impacto insignificante nesta variabilidade.

## **2.3 Modelos para lidar com casos de pequenas amostras**

As duas abordagens anteriores estudam o problema da duração das cirurgias através da análise de casos com um número considerável de dados históricos ou recorrem mesmo ao método da classificação para contornar o problema caso a situação contrária se verifique. No entanto, existem alguns estudos que se dedicam a prever a duração de casos cirúrgicos com poucos ou nenhuns casos históricos.

Zhou e Dexter [16], por exemplo, abordam o problema do escalonamento de cirurgias novas num plano cirúrgico previamente realizado, devido à existência de “buracos” de tempo entre operações capazes de permitir a realização de um procedimento cirúrgico não contabilizado anteriormente.

Deste modo, dedicam-se à previsão de limites superiores para a duração de novos casos cirúrgicos através de duas metodologias, usando a distribuição-livre (método não paramétrico onde não se assume que a distribuição estatística da duração de um caso segue alguma distribuição particular) e a distribuição Log-Normal. A consideração da distribuição Log-Normal deve-se ao facto das durações dos casos terem duas características que são representativas desta distribuição: são sempre positivas e os outliers tendem a registar durações muito extensas.

Os autores concluem que pelo menos uma, quatro ou nove durações de casos anteriores são necessárias para prever limites superiores com 50%, 80% ou 90% de confiança, respectivamente, usando o método da distribuição-livre. Já no caso da utilização do método baseado na distribuição Log-Normal são necessárias pelo menos duas durações de casos anteriores para prever qualquer um dos limites superiores com 50%, 80% ou 90% de confiança.

É, portanto, plausível afirmar que com uma pequena amostra de casos anteriores é possível trabalhar com estimativas de durações cirúrgicas dentro de certos limites. Mesmo assim, os autores observam que os limites superiores com 80% de confiança não são passíveis de serem estimados para 35% de casos futuros usando o método da distribuição-livre, chegando mesmo este valor a atingir os 49% de casos no que respeita à previsão de limites superiores com 90% de confiança. Já com o método da distribuição Log-Normal, estes valores descem para 22% de casos para ambos os graus de confiança na previsão dos limites superiores. Para além disso, os autores ainda concluem que a previsão dos limites superiores pode ser realizada com precisão através de um método que assume que as durações dos casos cirúrgicos seguem uma distribuição Log-Normal.



Posteriormente, seguindo a mesma ordem de trabalhos, Dexter e Ledolter [17] propõem e validam uma maneira prática de prever limites e comparar os tempos de casos cirúrgicos em sala de operação, mesmo quando existem poucos ou nenhuns dados históricos em relação a determinada combinação de cirurgião e tipo de procedimento, recorrendo a métodos estatísticos Bayesianos. Os autores afirmam que: quando há um pequeno número de dados históricos, uma combinação ponderada do horário de operação programado/escalonado e dos dados históricos deve ser usada; e para casos com nenhuns ou muito poucos dados históricos, os métodos Bayesianos permitem prever limites, tendo sido precisos os que foram calculados pelos autores durante o estudo.

Também Dexter et al. [18] se dedicam à previsão de limites superiores para a duração de cirurgias como modo de escalonar um delay entre dois cirurgiões que realizam cirurgias seguidas na mesma sala de operações, com o objectivo de aumentar a probabilidade do segundo cirurgião começar à hora marcada. Testam uma expressão analítica para a previsão do limite superior para o último caso do dia numa sala de operações e um método de simulação de Monte Carlo para os últimos dois casos, concluindo que a sua metodologia pode ser usada para calcular um delay apropriado e com uma precisão razoável.

Para além destes, também Macario e Dexter [19] se dedicam ao estudo de métodos para prever a duração de cirurgias de determinado tipo de procedimento realizadas por cirurgiões que até então nunca tinham realizado tal procedimento. Avaliam então 16 métodos diferentes baseados nos casos realizados por outros cirurgiões com o mesmo tipo de procedimento e concluem que a média das durações desses procedimentos realizados por outros cirurgiões é uma estimativa tão precisa quanto as estimativas obtidas pelos 15 outros métodos estatísticos mais sofisticados.

## **2.4 Uso de estimativas dos cirurgiões**

Abordando o problema da duração das cirurgias de um ponto de vista diferente dos três anteriormente apresentados, Pandit e Carey [20] preocupam-se com a questão do cancelamento de operações cirúrgicas devido ao escalonamento de um número de operações excessivo e investigam se este excesso se deve ao optimismo dos cirurgiões ao estimarem a duração das suas cirurgias. Deste modo, os autores realizam um questionário a 22 cirurgiões, 35 anestesistas e 16 membros do pessoal de enfermagem sénior para avaliar as suas estimativas para o tempo de operação total de 31 procedimentos cirúrgicos gerais e urológicos. Concluem que não existem diferenças entre as estimativas destes três grupos de pessoal hospitalar ou entre estas estimativas e os tempos registados no hospital para as mesmas operações. Assim sendo, os autores utilizam a média das estimativas de cada grupo de pessoal conjuntamente com a estimativa do sistema hospitalar para obter uma “estimativa combinada” da duração de cada operação, permitindo reduzir as deficiências que possam estar presentes em ambos os métodos (questionário e sistema hospitalar) e também o problema de baixas frequências de algumas operações. Para além disto, argumentam ainda que a sua abordagem de estimação de durações cirúrgicas tem como pontos fortes o facto de ser intuitiva, relevante e facilmente aplicada por outros.

Os autores acabam, então, por concluir que as estimativas cirúrgicas obtidas são bastante precisas em prever a “duração actual da lista” (tempo desde o início da anestesia do primeiro paciente da lista até à chegada do último paciente à área de recuperação, excepto qualquer pausa ou interrupção já conhecida, como o almoço, por exemplo), mas existe um pobre escalonamento das operações cirúrgicas dentro do tempo de escala permitido, não se aproveitando de modo eficiente os recursos disponíveis, o que releva a importância da Investigação Operacional neste campo.

Como confirmação deste último ponto de vista, Dexter e Macario [21] afirmam que uma média de 39 durações de um tipo de operação, combinada com as estimativas médias dos cirurgiões, resulta numa boa medida de durações cirúrgicas futuras.

Tal como os autores anteriores, também Wu et al. [22] se dedicam a analisar a precisão das estimativas dos cirurgiões relativamente ao tempo de cirurgia controlado por eles, uma vez que este constitui a maior parte do tempo total do procedimento cirúrgico. As diferenças entre os tempos estimados e os realmente verificados são testadas através de um teste t bilateral e as diferenças entre especialidades examinadas através de análise de variância e testes de Games-Howell.

Os autores concluem que os tempos de cirurgia controlados pelos cirurgiões são sobrestimados em muitas especialidades, dentro da instituição na qual se realizou este estudo.

## **2.5 Consideração de mais do que uma abordagem**

Para além de todos os estudos realizados de acordo com qualquer uma das quatro abordagens atrás enunciadas isoladamente, Dexter et al. [23] integram mais do que uma delas no mesmo trabalho. Deste modo, os autores utilizam métodos Bayesianos para prever durações medianas de casos cirúrgicos futuros. A diferença relativamente aos métodos enunciados nas secções anteriores reside no facto de não serem utilizados apenas e só os dados históricos, mas haver uma combinação ponderada destes com as estimativas realizadas pelos cirurgiões.

No estudo realizado, a maioria dos casos ou tinha tão poucas durações históricas (0-2) que a estimativa Bayesiana era influenciada principalmente pela duração escalonada (estimada pelos cirurgiões), ou tantas durações históricas (>10) que a estimativa era influenciada principalmente por estas. Os autores concluem que tanto as durações escalonadas como os dados históricos são necessários para estimar a duração mediana de casos cirúrgicos futuros.

## **2.6 Conclusões**

Como se pode verificar, existem diversos métodos de obtenção de estimativas de durações de procedimentos cirúrgicos baseados em abordagens distintas, nomeadamente, na procura do melhor ajustamento das famílias de distribuições aos dados (onde aparenta ser a Log-Normal a mais recursivamente utilizada pelos autores), na criação de modelos estatísticos, no desenvolvimento de modelos na presença de amostras de pequenas dimensões ou mesmo inexistentes e, por fim, nas estimativas subjectivas dos cirurgiões.

Joustra et al. [7] investigam se os modelos de previsão de durações cirúrgicas, baseados na informação disponível no momento da realização do planeamento cirúrgico, oferecem uma melhor alternativa às estimativas subjectivas dos cirurgiões. Os autores concluem que os primeiros oferecem, muitas vezes, melhores resultados que os segundos, sem que isto indique que as previsões realizadas pelos cirurgiões não contenham informação valiosa.

De facto, para estes autores as expectativas dos cirurgiões são uma variável explicativa importante, pelo que recomendam que não se utilizem exclusivamente métodos estatísticos, mas estes em combinação com a informação fornecida pelos cirurgiões.

Na continuação do estudo da fiabilidade das estimativas apontadas pelos cirurgiões para as durações de cirurgias electivas, Wright et al. [24] comparam-nas com as estimativas realizadas pelo software presente no centro médico em estudo. No entanto, abordam também a questão da utilização de modelos de regressão ao tentarem perceber até que ponto estes melhoram os valores apontados para as durações cirúrgicas. Os autores concluem que os cirurgiões do centro em estudo providenciam estimativas mais precisas do que o software utilizado e que a utilização de modelos de regressão provoca modestos melhoramentos nesta precisão, revelando a importância do uso de técnicas de previsão através destes modelos para as durações cirúrgicas, permitindo com isto o não envolvimento excessivo por parte do pessoal hospitalar, libertando-os para outras tarefas.



## 3. Metodologia

---

Neste capítulo aborda-se o método de obtenção das estimativas das durações cirúrgicas electivas do hospital em estudo, bem como dos tempos de permanência dos pacientes nas respectivas salas de operação, através da consideração das variáveis registadas na lista de espera das cirurgias. As estimativas das durações cirúrgicas servem para perceber a partir de que altura o cirurgião responsável por dada cirurgia estará disponível para sair da sala e realizar outra operação numa sala diferente. As estimativas dos tempos de permanência dos pacientes em sala de operação permitem perceber a partir de quando é que a sala estará livre para o próximo paciente, permitindo assim escalonar para uma mesma sala de operações.

São consideradas duas abordagens distintas na obtenção destas estimativas. A primeira consiste na formulação de um modelo de regressão linear em que se procura explicar, através de uma série de variáveis, a variável que corresponde aos respectivos tempos (cirúrgicos ou de permanência em sala de operação) e a segunda na consideração de uma família de distribuições dos mesmos, permitindo caracterizar a variabilidade destas durações.

Analisando primeiramente os dados, é possível verificar-se que, durante o período em análise (anos 2013, 2014 e 2015), registaram-se 36515 cirurgias dispersas por 1815 diferentes códigos de procedimento, muitos deles com apenas uma ocorrência (32.5% dos casos). Deste modo, para ambas as abordagens de estimação procede-se, antes de tudo, ao agrupamento de categorias respeitantes aos códigos de procedimento, devido ao facto de estas se encontrarem em número bastante elevado, apresentando muitas das cirurgias tempos de procedimento muito semelhantes entre si, e de muitos destes códigos terem muito poucas observações registadas, tornando difícil, se não mesmo impossível, a obtenção de resultados estatisticamente significativos. Obtem-se assim uma nova variável que diz respeito aos grupos de códigos de procedimento (GRUPO\_PROC), que é considerada em ambas as abordagens.

Deste modo, este capítulo é dividido em 3 secções. A primeira secção referente ao processo de agrupamento dos códigos de procedimento, a segunda à formulação de um modelo de regressão linear para cada caso de estimação (tempos cirúrgicos e tempos totais dos pacientes em sala de operação) e, por fim, a terceira referente à consideração de uma família de distribuições para a estimação destes tempos.

### 3.1 Processo de agrupamento dos códigos de procedimento

O agrupamento dos códigos de procedimento obtido é utilizado para a estimação de ambas as durações, cirúrgicas e tempo total dos pacientes em sala de operação.

Para o efeito, são considerados vários tipos e subtipos de agrupamentos (explicados mais adiante), que se diferenciam entre si de acordo com os critérios seleccionados para tal:

1. Consideração das médias das durações dos tempos em sala de operação como “objecto base” de agrupamento, tal como em Hosseini et al. [9]. Nesta versão do processo, são desenvolvidos vários subtipos de agrupamentos:
  - A. Diferença máxima entre médias igual a 3.5 minutos e sem divisão dos grupos de códigos por serviços/especialidades;

- B. Diferença máxima entre médias igual a 3.5 minutos e com divisão dos grupos de códigos por serviços/especialidades;
  - C. Diferença máxima entre médias igual a 1.5 minutos e com divisão dos grupos de códigos por serviços/especialidades;
  - D. Diferença máxima entre médias igual a 0 minutos e sem divisão dos grupos de códigos por serviços/especialidades;
- 2. Consideração das médias das durações cirúrgicas como base de agrupamento e com divisão dos grupos de códigos por serviços/especialidades;
  - 3. Consideração inicial dos desvios padrões dos tempos totais dos doentes em sala de operação, seguido da consideração das médias de durações destes tempos.

### 3.1.1 Agrupamento 1.A

Para a realização do agrupamento dos códigos de procedimento é inicialmente considerada uma tabela com três colunas e 1815 linhas, onde se apresenta cada um dos diferentes códigos de procedimento registados pelo hospital, a média observada dos valores de tempo em sala de operação de cada um deles (por ordem crescente) e o respectivo número de cirurgias registadas com cada um dos códigos.

Este agrupamento é baseado nas diferentes médias dos tempos totais apresentadas pelos códigos de procedimento, que vão desde os 7 minutos, no caso do código 362.7, aos 600 minutos, no caso 76.41. Deste modo, vão-se agrupando os códigos que distam menos entre si em termos de médias (considerando-se intervalos de 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5 minutos, que são explicados passo a passo mais adiante), procedendo-se, no fim de cada junção, ao cálculo da média de cada novo grupo.

Para este processo de agrupamento são considerados dois critérios de paragem: (1) O número de cirurgias registadas em cada um dos grupos de códigos chega às 10, de modo a evitar grupos com um número de casos extremamente baixo, possibilitando uma melhor estimacão do modelo; (2) A diferença entre médias considerada nos sucessivos passos do agrupamento alcança, no máximo, metade do valor da média de duração em sala de operação mais rápida, ou seja, 3.5 minutos (3 minutos e meio), de modo a evitar que se juntem ao primeiro grupo outros com médias de tempos muito distintos do primeiro.

Explicando mais detalhadamente, o primeiro passo do processo consiste em juntar os códigos com médias iguais dentro de um mesmo grupo, ou seja, a primeira diferença entre médias considerada é 0.

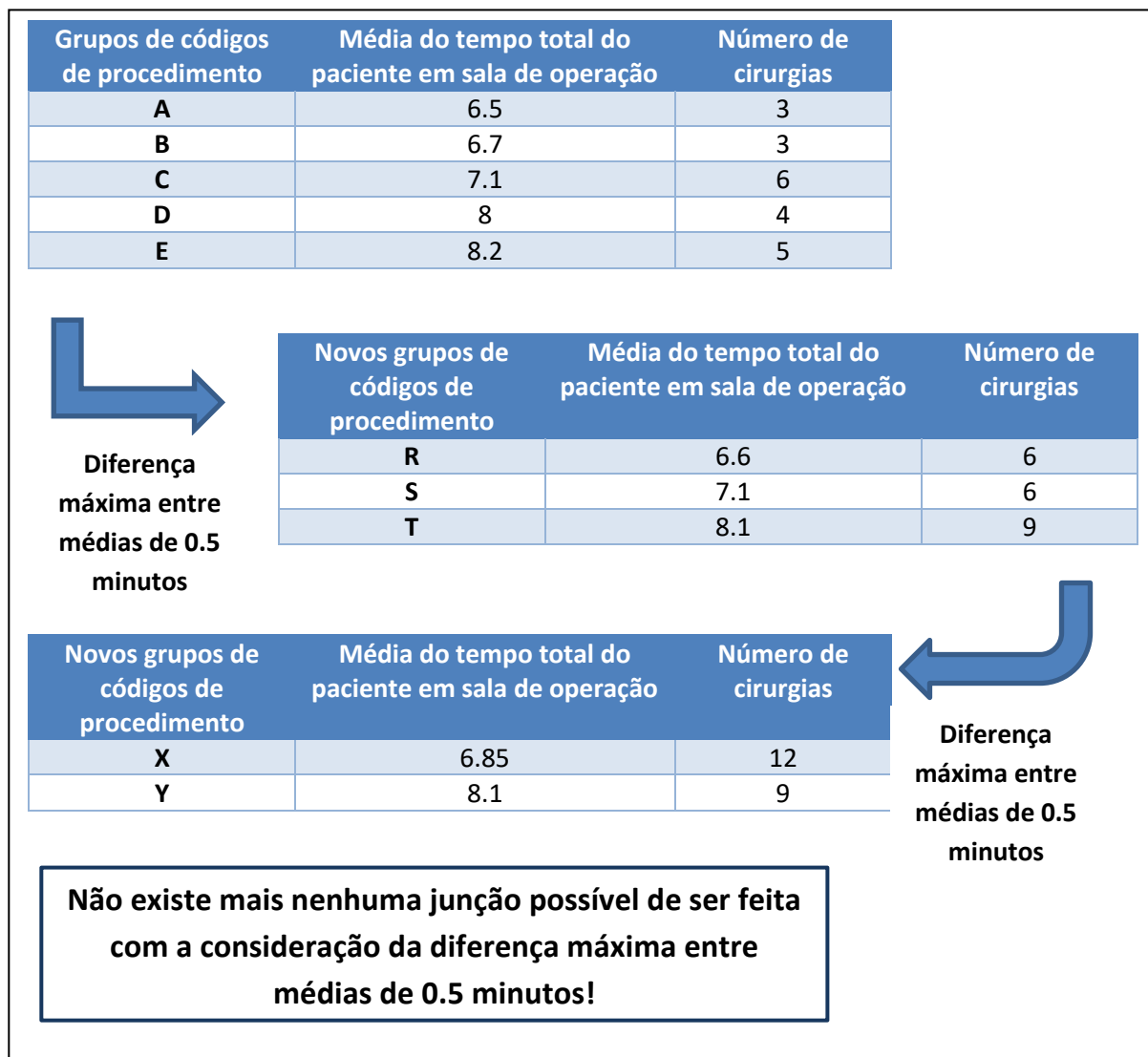
Obtidos os vários grupos de códigos (que agora apresentam médias distintas entre si), é considerada a diferença máxima entre médias de 0.5 minutos (30 segundos).

É de referir, no caso da consideração da diferença máxima entre médias de 0.5 minutos, a possibilidade de um grupo ter, por exemplo, média de 10 minutos e outros dois terem média de 9.6 e 10.3, respectivamente. Neste caso, o primeiro (média de 10) poderia juntar-se a qualquer um dos outros dois grupos, mas qualquer um dos outros dois não se poderia ligar ao restante, uma vez que a distância entre eles é de 0.7 minutos ( $> 0.5$ ). Para evitar problemas deste tipo, e uma vez que se apresenta uma tabela com médias dos grupos ordenada por ordem crescente, o que se considera é a junção de grupos por ordem crescente de médias, assumindo assim a possibilidade de se juntarem mais do que dois grupos desde que a diferença entre médias de cada um deles e o grupo com o menor valor destas seja inferior ou igual aos 0.5 minutos estabelecidos anteriormente. Assim, o grupo com média de 9.6 junta-se ao grupo com média de 10 e o restante grupo mantém-se separado desta união, pelo menos por enquanto. Esta “regra” é válida para todas as diferenças entre médias consideradas.

Após esta junção mencionada, caso permaneçam diferenças entre médias inferiores ou iguais a 0.5 minutos entre os novos grupos formados, e não seja atingido nenhum dos critérios de paragem, é realizado novamente um agrupamento destes grupos considerando este mesmo valor de diferença

máxima entre médias. Caso contrário, é considerado um novo valor, neste caso, 1 minuto (se nenhum dos critérios de paragem tiver sido atingido).

Na Figura 3.1 é apresentado um exemplo de agrupamento realizado considerando a diferença máxima entre médias de 0.5 minutos.



**Figura 3.1** – Esquema geral do processo de agrupamento dos códigos de procedimento.

A partir do momento em que não é possível realizar mais nenhum agrupamento, de acordo com a diferença máxima entre médias considerada em cada passo, e não é atingido nenhum dos critérios de paragem, prossegue-se para a consideração de novos valores para as diferenças máximas (os já referidos anteriormente).

### **3.1.2 Agrupamento 1.B**

Este processo de agrupamento é, em quase tudo, igual ao agrupamento 1.A, incluindo a consideração dos mesmos dois critérios de paragem. A única diferença entre os dois processos tem a ver com o facto de este último separar, dentro de cada um dos grupos formados aquando o alcance de algum dos critérios de paragem, os vários códigos de procedimento em subgrupos, de acordo com a especialidade atribuída a cada código.

Por exemplo, imagine-se que o grupo X da Figura 3.1 é constituído por três códigos de procedimento e que dois deles só têm afectas cirurgias da especialidade “e” e o outro só da especialidade “f”. Neste caso, o grupo X é dividido em dois subgrupos, sendo um deles constituído pelos primeiros dois códigos mencionados e o outro subgrupo constituído pelo último código. A mesma lógica é aplicada ao grupo Y. É importante referir que pode dar-se o caso de existirem códigos de procedimento afectos a várias especialidades. Neste caso, dentro de cada grupo pode existir um subgrupo que contém apenas ocorrências deste género.

### **3.1.3 Agrupamento 1.C**

Semelhante ao processo de agrupamento 1.B. Apenas se diferencia no critério de paragem (2), uma vez que considera 1.5 minutos (um minuto e meio) como valor máximo para a diferença entre médias, enquanto no processo 1.B este valor é de 3.5 minutos (três minutos e meio).

### **3.1.4 Agrupamento 1.D**

Este agrupamento consiste apenas na junção dos códigos de procedimento cujas cirurgias apresentam igual média de duração total dos pacientes em sala de operação. Não existe nenhuma divisão posterior dos grupos por especialidades.

### **3.1.5 Agrupamento 2**

Neste processo, a base de agrupamento deixa de ser as médias dos tempos totais dos pacientes em sala de operação e passa a ser as médias dos tempos cirúrgicos, de modo a tentar perceber até que ponto a escolha de um tipo de tempo afecta as estimativas obtidas para cada um deles. De resto, é seguida exactamente a mesma lógica do processo 1.B no que respeita à junção dos sucessivos grupos de códigos de procedimento e ao recurso aos mesmos fundamentos dos critérios de paragem.

Deste modo, o critério de paragem (1) é exactamente o mesmo para este caso e o critério (2) apenas altera o valor máximo a alcançar na diferença entre médias considerada nos sucessivos passos do agrupamento, que passa a ser de 1 minuto, uma vez que este é agora a metade do valor médio das durações cirúrgicas mais baixo (2 minutos).

Tal como no processo de agrupamento 1.B, também aqui os grupos formados são posteriormente divididos de acordo com as especialidades afectas aos respectivos códigos de procedimento.



### 3.1.6 Agrupamento 3

Todos os tipos de agrupamento anteriormente referidos têm inicialmente em conta as médias de durações (cirúrgicas ou totais), mas pode dar-se o caso de se juntarem códigos de procedimento com médias muito semelhantes e variabilidades muito distintas entre si. Neste caso, a estimação conjunta destes códigos pode ser bastante distorcida da realidade de alguns deles, pelo que é realizado um novo tipo de agrupamento.

Este método considera inicialmente os desvios padrões dos tempos totais dos doentes em sala de operação, registados em cada código de procedimento, possibilitando a junção de códigos que sejam semelhantes entre si no que respeita a variabilidade de tempos decorridos.

Tal como nos outros métodos, parte de uma tabela ordenada de forma crescente mas, neste caso, em relação aos desvios padrões.

De seguida, é realizada apenas uma junção dos códigos que têm entre si uma diferença de desvios padrões menor ou igual a 1 minuto (como que passar, apenas, da primeira para a segunda tabela no exemplo da Figura 3.1, mas considerando a distância máxima de 1 minuto e não 0.5).

Depois, voltam a ser consideradas as médias de durações dos tempos totais dos pacientes em sala de operação e, dentro de cada grupo formado anteriormente, são agrupados os códigos que possuem uma diferença máxima entre médias igual a 0.5 minutos (30 segundos).

O agrupamento realizado até ao momento é o final, uma vez que, neste caso, os grupos não são divididos por especialidades, dado o número já bastante considerável de categorias da variável que representa os grupos de códigos de procedimento.

## 3.2 Formulação do modelo de regressão

Para a criação de modelos estatísticos que forneçam as estimativas das durações cirúrgicas (TC) e dos tempos totais dos pacientes em sala de operação (TTDS), foram primeiramente consideradas as variáveis passíveis de influenciar estes tempos e que se encontram presentes no registo da lista de espera das cirurgias do hospital. Deste modo, as variáveis consideradas são:

- i. cirurgião principal responsável pelo procedimento;
- ii. serviço/especialidade responsável pela cirurgia;
- iii. grupo de códigos de procedimento a que pertence a respectiva cirurgia (grupos criados e referidos na secção anterior);

Em ambos os casos de estimação é utilizado o *software R* para a construção dos modelos, através da análise de significância de cada uma das variáveis consideradas. São, assim, seleccionadas as variáveis explicativas que melhor se ajustam aos dados registados pelo hospital.

O modelo de regressão linear a obter em cada um dos casos é, genericamente, da forma da Equação 3.1.

$$\textbf{Equação 3.1: } Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon,$$

onde  $Y$  representa o tempo cirúrgico ou o tempo total do doente em sala de operação;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  representam as variáveis explicativas de cada modelo;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  são parâmetros desconhecidos que se pretendem estimar através da regressão;  $\varepsilon$  é o erro aleatório.

Para a referida selecção das variáveis explicativas, é primeiramente analisada a correlação existente entre as possíveis variáveis de cada caso de estimação e, de seguida, o *Variance Inflation Factors* (VIF) para cada variável que esteja altamente correlacionada com qualquer uma das outras. Este indicador dá uma medida do quanto a variância mínima de cada estimador dos parâmetros do modelo ( $\hat{\beta}_k$ ) aumenta,

devido à correlação existente entre a variável associada a este parâmetro ( $X_k$ ) e as restantes variáveis do modelo. Deste modo, aquelas variáveis que apresentam grande correlação com qualquer uma das outras e um VIF associado superior a 4 necessitam de investigação quanto à sua inclusão no modelo, uma vez que a inclusão simultânea destas variáveis influencia negativamente a estimação dos valores dos parâmetros do modelo.

Os resultados desta análise de correlação e VIF são apresentados no capítulo seguinte – Resultados.

Após esta análise procede-se à realização de um processo de selecção de variáveis com recurso a um procedimento baseado no critério *Akaike Information Criterion* (AIC), mais especificamente através dos métodos *Backward Stepwise* e *Forward Stepwise* (*Stepwise*), que vão obtendo diferentes valores para este critério ao longo dos vários passos do procedimento, sendo as durações cirúrgicas e os tempos totais dos pacientes em sala de operação considerados como variáveis dependentes e as variáveis enunciadas anteriormente como possíveis variáveis explicativas (i.-iii.), em cada um dos respectivos modelos. De acordo com este procedimento, o processo de selecção de variáveis pára quando se atinge o menor valor AIC possível, reflectindo, assim, o melhor ajustamento possível do modelo. A inclusão ou exclusão de mais alguma variável no modelo leva ao aumento deste valor.

Caso as variáveis correlacionadas que precisam de ser investigadas relativamente à sua inclusão no modelo já não estejam incluídas no modelo final obtido por este procedimento, ou se apenas uma delas estiver, então o problema da correlação fica resolvido. Caso contrário, retira-se do modelo aquela(s) variável(eis) que provocar(em) o menor aumento no valor AIC obtido.

De acordo com o método *Stepwise*, as variáveis podem ser adicionadas ou removidas do modelo numa fase do processo de selecção, mas posteriormente voltar a ser removidas ou adicionadas, respectivamente, se tal se justificar, o que torna este processo bastante flexível.

Neste caso, são realizadas duas regressões *Stepwise*, uma *Backward* e outra *Forward*. A primeira começa com a apresentação de um modelo composto por todas as possíveis variáveis explicativas e vai retirando as variáveis que permitem ao modelo obter um valor AIC cada vez mais baixo, analisando sucessivamente todas as variáveis ainda presentes em cada passo, bem como as que vão sendo retiradas, permitindo então a inclusão de algumas das segundas ou a exclusão de algumas das primeiras. No final do processo, o modelo com menor valor AIC será o modelo inicial (caso não tenha sido retirada nenhuma variável) ou, muito possivelmente, um com menos variáveis incluídas. Já a regressão *Forward Stepwise* parte de um modelo composto apenas por um parâmetro independente, sem a presença de qualquer variável explicativa, e vai, sucessivamente, analisando a inclusão das variáveis (e a possível exclusão de alguma já adicionada) até se se encontrar, no máximo, na presença do modelo composto por todas as variáveis. Tal como no caso *Backward*, também aqui o modelo final que se obtém é o que apresentar menor valor AIC.

A realização dos dois tipos de regressão *Stepwise* para cada caso de estimação possibilita a comparação de ambos os modelos obtidos e a escolha do que se ajusta melhor aos dados registados pelo hospital.

Para a regressão linear, apenas são considerados os casos registados pelo hospital que apresentam informação completa sobre todas as variáveis. Uma vez que nem todos os casos se apresentam nestas condições, das 36515 cirurgias registadas, apenas 31891 (87.3%) são consideradas para a regressão de ambos os modelos.

Apresentam-se, nos Algoritmos 3.1 – 3.4, os pseudo-códigos respeitantes à forma de obtenção das variáveis significativas destes modelos, através do uso das ferramentas do *software R*.

**Input:** Dados registados pelo hospital, lidos de um ficheiro.

**Output:** Variáveis explicativas significativas para o modelo.

- Definir como factores as variáveis pertinentes.
- `mod<-lm(TC ~ Todas as possíveis variáveis)`
- `mod0<-lm(TC ~ 1)`. Modelo sem variáveis explicativas.
- `modelo<-step(...,mod0,...,mod,...)`. Comando da regressão *Forward Stepwise*.
- `anova(mod,modelo)`. Análise da tabela de variância.

**Algoritmo 3.1** – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos cirúrgicos através da regressão *Forward Stepwise*.

O facto de se realizar uma análise da tabela de variância resulta da necessidade de verificar se existe alguma diferença estatisticamente significativa entre o modelo obtido pela regressão *Stepwise* (**modelo**) e o modelo que considera a presença de todas as possíveis variáveis explicativas (**mod**).

O teste de hipóteses aqui presente é o Teste 3.1.

**Teste 3.1:**  $H_0: \text{mod} = \text{modelo}$  (**modelo2** no caso da regressão *Backward Stepwise*)  
versus

$H_1: \text{mod} \neq \text{modelo}$  (ou **modelo2**)

Caso o *p-value* obtido seja inferior a um nível de significância  $\alpha$ , assumido neste caso como  $\alpha=0.05$ , a hipótese de que a diferença entre os modelos não é significativa é rejeitada, assumindo-se assim como modelo final para a estimação pretendida o modelo composto por todas as variáveis. Caso contrário, é assumido como modelo final o obtido através da regressão, que é composto, possivelmente, apenas por algumas das variáveis.

**Input:** Dados registados pelo hospital, lidos de um ficheiro.

**Output:** Variáveis explicativas significativas para o modelo.

- Definir como factores as variáveis pertinentes.
- `mod<-lm(TC ~ Todas as possíveis variáveis)`
- `modelo2<-step(mod,direction="backward")`. Comando da regressão *Backward Stepwise*.
- `anova(mod,modelo2)`. Análise da tabela de variância.

**Algoritmo 3.2** – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos cirúrgicos através da regressão *Backward Stepwise*.

Do mesmo modo que são realizados os dois tipos de regressão *Stepwise* para a obtenção de um modelo estatístico para a estimação dos tempos cirúrgicos, são também realizados ambos os métodos para a obtenção de um outro modelo para a estimação do tempo total dos pacientes em sala de operação (TTDS).

**Input:** Dados registados pelo hospital, lidos de um ficheiro.

**Output:** Variáveis explicativas significativas para o modelo.

- Definir como factores as variáveis pertinentes.
- `mod<-lm(TTDS ~ Todas as possíveis variáveis)`
- `mod0<-lm(TTDS ~ 1)`. Modelo sem variáveis explicativas.
- `modelo<-step(...,mod0,...,mod,...)`. Comando da regressão *Forward Stepwise*.
- `anova(mod,modelo)`. Análise da tabela de variância.

**Algoritmo 3.3** – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação através da regressão *Forward Stepwise*.

**Input:** Dados registados pelo hospital, lidos de um ficheiro.

**Output:** Variáveis explicativas significativas para o modelo.

- Definir como factores as variáveis pertinentes.
- `mod<-lm(TTDS ~ Todas as possíveis variáveis)`
- `modelo2<-step(mod,direction="backward")`. Comando da regressão *Backward Stepwise*.
- `anova(mod,modelo2)`. Análise da tabela de variância.

**Algoritmo 3.4** – Pseudo-código para a obtenção das variáveis significativas do modelo estatístico para a estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação através da regressão *Backward Stepwise*.

Os resultados da implementação destes algoritmos são apresentados no capítulo seguinte.

Depois de identificadas as variáveis importantes/significativas de cada modelo e analisada a possível inclusão de variáveis altamente correlacionadas entre si que precisam de ser investigadas, prossegue-se a verificação da presença das suposições do erro dos modelos de regressão linear. Deste modo, é necessário verificar-se a homocedasticidade (constância da variância), a normalidade e a independência dos erros dos modelos obtidos.

No que respeita à homocedasticidade, para cada um dos modelos obtidos é realizada uma representação gráfica (resíduos *versus* valores ajustados do modelo) para a verificação da constância da variância dos erros do modelo.

Para a análise da normalidade do erro presente no modelo são realizadas duas representações gráficas, um qqPlot (*norm quantiles versus* resíduos standardizados) e uma *boxplot* dos resíduos standardizados.

Por fim, para a verificação da independência dos erros é realizado o teste de Durbin-Watson, cujas hipóteses são apresentadas no Teste 3.2.

**Teste 3.2:**  $H_0: \rho=0$  (erros independentes)

*versus*

$H_1: \rho \neq 0$  (erros não independentes).

No caso de, em cada um dos modelos obtidos, não estarem verificadas as três suposições do erro, é necessário realizar uma transformação *Box-Cox* que se traduz na Expressão 3.1.

**Expressão 3.1:**  $Y \rightarrow t_\lambda(Y)$ , onde  $t_\lambda(Y) = \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda}$  se  $\lambda \neq 0$  e  $\log(Y)$  se  $\lambda = 0$ ,

onde  $\lambda$  é a variável cujo valor é escolhido para maximização da função *profile log-likelihood* ( $L(\lambda) = -\frac{n}{2} \log\left(\frac{RSS_\lambda}{n}\right) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^n \log y_i$ , onde  $RSS_\lambda$  é o RSS, ou seja, a variabilidade do modelo, quando  $t_\lambda(Y)$  é a variável resposta), de entre um conjunto de valores tais como: -2, -1, -0.5, 0, 0.5, 1 e 2.

Esta transformação é auxiliada por uma representação gráfica que ajuda a decidir sobre a transformação a realizar à variável resposta, de modo a que haja um melhor ajustamento do modelo aos dados e a correcção das violações das suposições do erro do modelo.

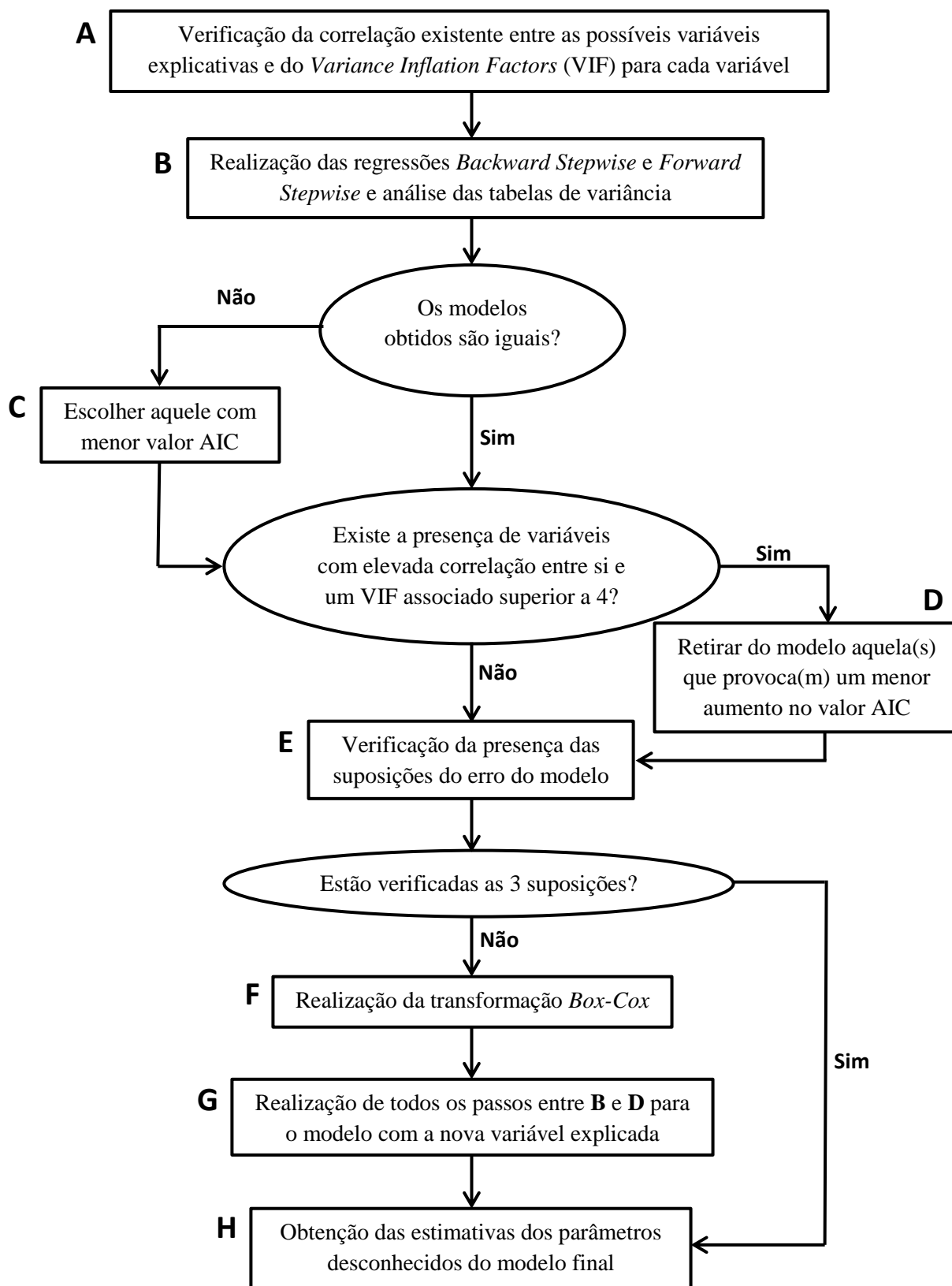
No caso de ser necessária alguma transformação da variável dependente do modelo, é preciso realizar novamente as regressões *Stepwise (Forward e Backward)* de modo a obter novamente as variáveis importantes passíveis de influenciar a nova variável explicada. O novo modelo traduz-se, então, na Equação 3.2.

$$\textbf{Equação 3.2: } t_\lambda(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon,$$

tendo sido já anteriormente explicado o significado de todos os elementos aqui presentes.

Após a realização das regressões e a escolha do modelo mais ajustado para cada caso em estudo, podem, então, ser obtidas as estimativas dos parâmetros desconhecidos, que são conseguidas com recurso ao comando *summary* no *software* utilizado.

O esquema geral da metodologia adoptada no presente capítulo para a obtenção, em cada caso de estudo (estimação das durações cirúrgicas e dos tempos totais dos pacientes em sala de operação), do modelo mais ajustado aos dados registados pelo hospital é apresentado na Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Esquema geral da metodologia adoptada para a obtenção, em cada caso de estudo, do modelo mais ajustado aos dados existentes.

### 3.3 Consideração de uma família de distribuições

De acordo com a literatura existente, a maior parte dos autores considera a distribuição Log-Normal como a mais correcta para ajustar uma distribuição aos tempos cirúrgicos, pelo que é ajustada esta mesma distribuição aos dados presentes neste estudo.

Do mesmo modo que é formulada uma distribuição Log-Normal para os tempos cirúrgicos, assim também é modelada uma outra para os tempos totais dos pacientes em sala de operação.

De acordo com Strum et al. [3], a rejeição (falsa) do modelo Log-Normal pode ocorrer no caso de existirem populações heterogéneas de tempos de procedimentos cirúrgicos. De facto, se se analisar as médias dos tempos cirúrgicos dos códigos de procedimento (ou mesmo as médias dos tempos totais dos pacientes em sala de operação), é possível encontrar uma grande discrepância de valores entre eles. No caso dos tempos cirúrgicos, existem procedimentos que demoram 2 minutos e outro que leva 610 minutos. No caso dos tempos totais dos pacientes em sala de operação existem casos de 7 minutos e um outro de 697 minutos.

Deste modo, a solução a adoptar passa por segmentar os dados através de uma ou mais variáveis, de acordo com a sua correlação à variável dependente de cada caso, tempos cirúrgicos ou tempos totais em sala de operação.

Para ambos os casos, das durações cirúrgicas (TC) e dos tempos totais dos doentes em sala de operação (TTDS), são obtidas as correlações existentes entre cada uma destas variáveis dependentes e as suas possíveis variáveis explicativas. Os resultados são apresentados no próximo capítulo – Resultados.

Na hipótese de existirem duas ou mais variáveis altamente correlacionadas com TC (ou TTDS) que o sejam também entre si, então apenas uma delas é escolhida para realizar a segmentação dos dados. No caso de existir apenas uma variável altamente correlacionada com TC (ou TTDS), é esta a variável segmentadora dos dados.

Depois de obtidas as variáveis de segmentação dos dados procede-se, por fim, à estimação dos valores dos parâmetros da função distribuição Log-Normal (em cada segmento de dados, ou seja, cada categoria da(s) variável(eis) seleccionada(s)), cuja função densidade de probabilidade se representa pela Equação 3.3.

$$\text{Equação 3.3: } f(x_{ab}) = \frac{1}{\sigma_{ab}x_{ab}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x_{ab} - \mu_{ab}}{\sigma_{ab}}\right)^2},$$

onde  $X_{ab} > 0$  é a duração cirúrgica ou o tempo total do paciente em sala de operação, na presença da categoria “a” de uma variável e da categoria “b” de outra (no caso de existirem duas variáveis de segmentação dos dados), que se assume possuir uma distribuição Log-Normal de parâmetros  $\mu_{ab}$  e  $\sigma_{ab}^2$ . Deste modo, o  $\log(X_{ab})$  possui uma distribuição Normal com os mesmos parâmetros, sendo estes estimados através dos seus estimadores de máxima verosimilhança, a média e variância amostral, respectivamente, para cada segmento de dados.

É de ter em atenção que é possível existirem segmentos de dados compostos apenas por uma cirurgia registada no hospital pelo que, nestes casos, não é possível ajustar uma distribuição Log-Normal ao dado histórico, uma vez que a variância e, conseqüentemente o desvio padrão, associados são nulos.





## 4. Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos em cada secção e subsecção do capítulo referente à metodologia adoptada para a estimação dos tempos cirúrgicos e dos tempos totais dos pacientes em sala de operação. Estes resultados são analisados e comparados com as estimativas obtidas por Mateus et al. [2]. Para além disto, é apresentada também uma análise de robustez ao plano cirúrgico obtido, aquando da introdução das novas estimativas das durações cirúrgicas e tempos totais dos pacientes em sala de operação, como *input*, nos modelos já desenvolvidos no estudo base.

### 4.1 Processo de agrupamento dos códigos de procedimento

São apresentados, nas Tabelas 4.1 e 4.2, o número de categorias da variável referente aos grupos de códigos de procedimento (GRUPO\_PROC) e o número de grupos de códigos com menos de uma dezena de casos registados pelo hospital, respectivamente, no final de cada passo dos diferentes processos de agrupamento adoptados.

**Tabela 4.1** – Número de categorias da variável referente aos grupos de códigos de procedimento das cirurgias, no final de cada passo dos diferentes processos de agrupamento adoptados.

	Diferença máx entre desvios padrões	Diferença máx entre médias (cirúrgicas ou de tempos totais dos pacientes em sala de operação)								Divisão por especialidades
Agrupamentos	1	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	
1.A	-	1018	310	196	148	123	104	94	80	-
1.B	-	1018	310	196	148	123	104	94	80	454
1.C	-	1018	310	196	148	-	-	-	-	690
1.D	-	1018	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	944	239	156	-	-	-	-	-	665
3	134	1355	1236	-	-	-	-	-	-	-

**Tabela 4.2** – Número de grupos de códigos de procedimento das cirurgias com menos de uma dezena de casos registados pelo hospital, no final de cada passo dos diferentes processos de agrupamento adoptados.

	Diferença máx entre desvios padrões	Diferença máx entre médias (cirúrgicas ou de tempos totais dos pacientes em sala de operação)								Divisão por especialidades
Agrupamentos	1	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	
1.A	-	516	104	63	43	38	32	28	24	-
1.B	-	516	104	63	43	38	32	28	24	273
1.C	-	516	104	63	43	-	-	-	-	451
1.D	-	516	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	423	71	48	-	-	-	-	-	419
3	24	886	796	-	-	-	-	-	-	-

A partir dos valores das Tabelas 4.1 e 4.2, são apresentadas, na Tabela 4.3, as percentagens de redução final do número de grupos de códigos de procedimento, em relação ao número de códigos inicialmente existente no hospital (que podem ser também considerados como grupos constituídos apenas por um código – 1815), e as proporções do número de grupos de códigos com menos de uma dezena de casos registados face ao número total de grupos obtido com cada tipo de agrupamento.

**Tabela 4.3** – Percentagens de redução do número de grupos de códigos de procedimento e percentagens de grupos com menos de uma dezena de casos registados.

	<b>Agrupamento</b>					
	1.A	1.B	1.C	1.D	2	3
<b>% Redução do nº de grupos de códigos</b>	95.6%	75%	62%	43.9%	63.4%	31.9%
<b>% Grupos com menos de 10 casos registados</b>	30%	60.1%	65.4%	50.7%	63%	64.4%

De acordo com a Tabela 4.3, é possível verificar-se que o processo 1.A foi o que teve uma maior redução do número de grupos de códigos e que existem sempre grupos com menos de uma dezena de casos registados, independentemente do tipo de agrupamento realizado (com maior enfoque no processo de agrupamento 1.C), o que torna os próximos passos, da estimação dos tempos cirúrgicos e em sala de operação, algo limitados.

## 4.2 Formulação do modelo de regressão

### 4.2.1 Modelo de estimação dos tempos cirúrgicos

Uma vez obtido o grupo correspondente a cada código de procedimento, procede-se a análise das correlações existentes entre as possíveis variáveis explicativas dos tempos cirúrgicos (i., ii. e iii. – secção 3.2), bem como dos VIF de cada uma delas (no caso de haver alguma correlação elevada), e a implementação dos Algoritmos 3.1 e 3.2 com vista à obtenção do modelo estatístico para a estimação destes tempos.

Como exemplo, são apresentados, nesta secção, os resultados obtidos após a consideração dos grupos de códigos de procedimento obtidos pelo método de agrupamento 1.A, sendo seguida a mesma lógica na consideração de qualquer um dos outros tipos de agrupamento.

Os resultados quanto às correlações entre as variáveis são apresentados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** – Correlações existentes entre possíveis variáveis explicativas das durações cirúrgicas.

	<b>Cirurgião principal</b>	<b>Serviço</b>	<b>Grupos de procedimentos</b>
<b>Cirurgião principal</b>	1.000	-0.054	0.049
<b>Serviço</b>	-0.054	1.000	0.014
<b>Grupo de procedimentos</b>	0.049	0.014	1.000

De acordo com a Tabela 4.4, não existem correlações elevadas entre quaisquer possíveis variáveis explicativas. Deste modo, nenhuma variável precisa de investigação quanto à sua inclusão no modelo de estimação dos tempos cirúrgicos, sendo, então, realizadas as regressões *Stepwise*. Os resultados obtidos encontram-se nas Figuras 4.1 e 4.2.

```

Step:  AIC=213704.2
TC ~ GRUPO_PROC + CIRURGIAO_PRINCIPAL + SERVICO

Df Sum of Sq      RSS      AIC
<none>                                25515380 213704
-  SERVICO                        10      54367 25569747 213752
-  CIRURGIAO_PRINCIPAL 172    1289140 26804520 214932
-  GRUPO_PROC                77    29361810 54877190 237973

```

**Figura 4.1** – Output obtido com a realização da regressão *Forward Stepwise*. Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo da cirurgia de cada paciente.

Tal como referido no capítulo anterior – Metodologia, após a obtenção das variáveis significativas dos modelos, através de cada regressão *Stepwise*, deve ser feita uma análise da tabela de variância. No entanto, neste caso, esta não é realizada, uma vez que o modelo obtido pela regressão considera exactamente as mesmas variáveis do que o modelo composto por todas as possíveis variáveis explicativas.

```

Start:  AIC=213704.2
TC ~ CIRURGIAO_PRINCIPAL + SERVICO + GRUPO_PROC

              Df Sum of Sq      RSS      AIC
<none>                                25515380 213704
-  SERVICO                        10      54367 25569747 213752
-  CIRURGIAO_PRINCIPAL 172    1289140 26804520 214932
-  GRUPO_PROC                77    29361810 54877190 237973

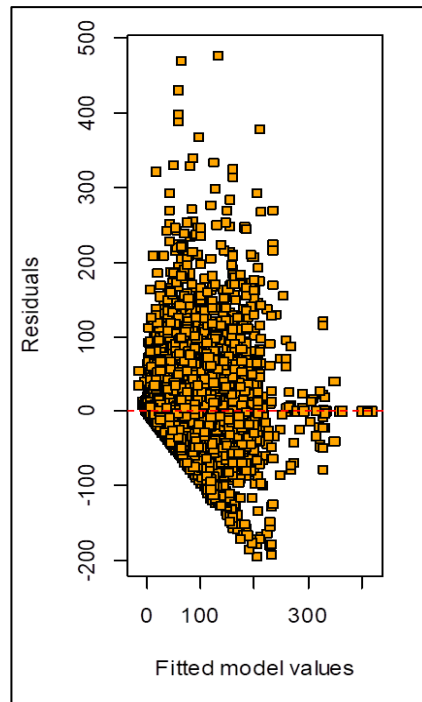
```

**Figura 4.2** – Output obtido com a realização da regressão *Backward Stepwise*. Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo da cirurgia de cada paciente.

Também aqui não é necessário realizar uma análise da tabela de variância pelas mesmas razões já apontadas anteriormente.

Os modelos obtidos por ambas as regressões *Stepwise*, *Forward* e *Backward*, são iguais e incluem as variáveis “Serviço”, “Cirurgião principal” e “Grupo de códigos de procedimento”, pelo que se procede a verificação das suposições do erro de um modelo de regressão linear: homocedasticidade (Figura 4.3), normalidade (Figura 4.4) e independência (Figura 4.5).

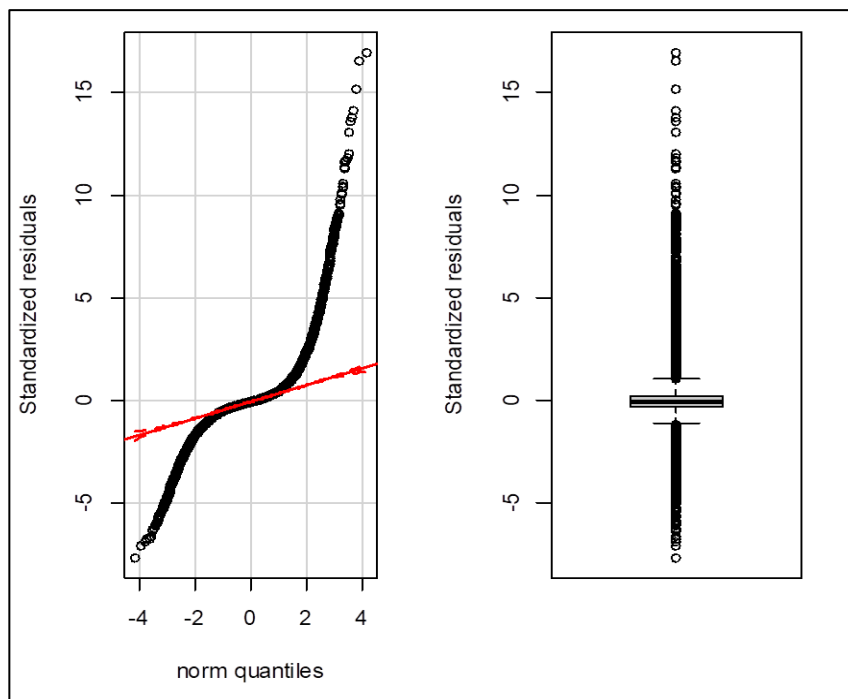
Quanto à homocedasticidade, é apresentada, na Figura 4.3, a representação gráfica realizada para a sua análise.



**Figura 4.3** – Representação gráfica para a verificação da homocedasticidade do erro presente no modelo de estimação do tempo da cirurgia de cada paciente.

Como se pode observar pela Figura 4.3, grande parte dos dados converge para a linha que se situa na origem do gráfico, tanto por valores positivos como negativos, indicando a convergência para o valor nulo dos resíduos obtidos pelo modelo, que aparentam registar valores relativamente simétricos, o que torna viável a presença de homocedasticidade.

No que respeita à verificação da normalidade do erro presente no modelo, apresentam-se, na Figura 4.4, as duas representações gráficas realizadas para tal, *qqPlot* e *boxplot* dos resíduos standardizados.



**Figura 4.4** – Representações gráficas, *qqPlot* e *boxplot*, para a verificação da normalidade do erro presente no modelo de estimação do tempo da cirurgia de cada paciente.

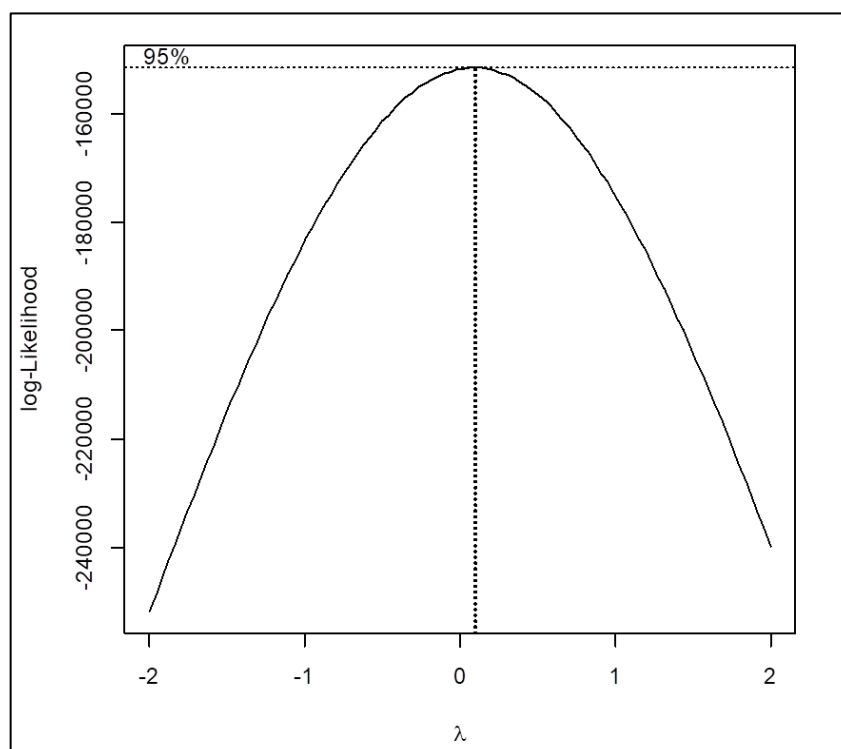
Neste caso, é possível verificar-se que grande parte dos resíduos standardizados se encontra distante da linha recta que se apresenta no gráfico da esquerda da Figura 4.4, pelo que se pode logo concluir que a suposição da normalidade não é verificada neste modelo.

Por fim, em relação à independência dos erros, é realizado o teste de Durbin-Watson que obtém um *p-value* igual a 0.5 (Figura 4.5), concluindo-se assim que a hipótese nula do teste de hipóteses não é rejeitada, ou seja, não se rejeita a hipótese de independência dos erros ( $\rho=0$ ).

```
Durbin-Watson test  
  
data:  modelo  
DW = 1.9364, p-value = 0.5  
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

**Figura 4.5** – *Output* obtido com a realização do teste de Durbin-Watson aos erros do modelo de estimação do tempo da cirurgia de cada paciente.

Através da análise das Figuras 4.3 - 4.5, é possível verificar-se que não são satisfeitas todas as suposições do erro de um modelo de regressão linear, uma vez que a hipótese da normalidade é violada. Assim sendo, é realizada uma transformação Box-Cox através do auxílio de uma representação gráfica (Figura 4.6).



**Figura 4.6** – Auxílio gráfico para a determinação do valor de  $\lambda$  na transformação *Box-Cox*.

Como se pode verificar na Figura 4.6,  $\lambda \approx 0$  com 95% de confiança, pelo que se assume que a transformação a ser feita deve considerar o logaritmo dos tempos cirúrgicos como variável dependente do modelo. Deste modo, depois de obtidas as estimativas dos parâmetros do modelo, é necessário realizar a transformação inversa da variável dependente ( $\log(\text{TC})$ ) quando se pretende estimar apenas as durações das cirurgias (TC).

Contudo, antes de se proceder à estimação dos valores dos parâmetros, é necessário realizar novamente as regressões *Stepwise* do modelo para obter as variáveis importantes para a estimação da nova variável dependente,  $\log(\text{TC})$ .

As regressões *Stepwise* do modelo da estimação de  $\log(\text{TC})$  obtêm as mesmas variáveis explicativas significativas: “Cirurgião principal”, “Serviço” e “Grupo de códigos de procedimento”. O valor AIC obtido em ambas as regressões é de -26800.03.

Por fim, são estimados os parâmetros do modelo com recurso ao comando *summary* do *software R* e através da análise dos *p-values* associados à estimação destes parâmetros.

Existem alguns parâmetros, associados a certas categorias de variáveis, que não são estimados no modelo obtido devido a razões como a existência de singularidade de casos registados em dada categoria ou a falta da presença de algumas categorias nesta estimação, resultante da sua eliminação, referida no capítulo anterior, aquando da eliminação de dados do hospital que não apresentam informação completa sobre todas as possíveis variáveis explicativas em estudo. Quando os parâmetros não conseguem ser estimados pelo método em estudo, são adoptadas, para as cirurgias incluídas nas categorias associadas a esses parâmetros, exactamente as mesmas estimativas que as obtidas pelo método do estudo base desenvolvido por Mateus et al. [2].

De acordo com os resultados obtidos, é possível realizar a seguinte interpretação:

- I. A associação de uma cirurgia a qualquer um dos grupos de códigos de procedimento leva ao aumento do valor de  $\log(\text{TC})$  e, ao mesmo tempo, da própria duração da cirurgia, relativamente ao valor que diz respeito à estimativa do parâmetro independente do modelo, com excepção de um grupo que não influencia em nada esta duração;
- II. A presença de um dado cirurgião na realização de uma cirurgia pode provocar um aumento, diminuição, ou mesmo não influenciar em nada (a sua maioria) a duração dessa mesma cirurgia;
- III. A maioria dos serviços afectos às cirurgias provoca uma diminuição no valor de  $\log(\text{TC})$  e, ao mesmo tempo, da duração da cirurgia, relativamente ao valor da estimativa do parâmetro independente do modelo, com excepção de alguns serviços que não influenciam em nada esta duração.

## **4.2.2 Modelo de estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação**

Uma vez que as possíveis variáveis explicativas do modelo de estimação dos tempos totais dos pacientes em sala de operação são as mesmas que no caso da estimação dos tempos cirúrgicos, é possível afirmar-se que não existem correlações elevadas entre estas, procedendo-se, então, à realização de ambas as regressões *Stepwise*, cujos resultados são apresentados nas Figuras 4.7 e 4.8.

```

Step:  AIC=227655.3
TTDS ~ GRUPO_PROC + CIRURGIAO_PRINCIPAL + SERVICO

Df Sum of Sq      RSS      AIC
<none>                        39517520 227655
-  SERVICO                   10      79234 39596754 227699
-  CIRURGIAO_PRINCIPAL 172    2236154 41753674 229067
-  GRUPO_PROC                77   51418147 90935667 254080

```

**Figura 4.7** – Output obtido com a realização da regressão *Forward Stepwise*. Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo total do doente em sala de operação.

```

Start:  AIC=227655.3
TTDS ~ CIRURGIAO_PRINCIPAL + SERVICO + GRUPO_PROC

              Df Sum of Sq      RSS      AIC
<none>                        39517520 227655
-  SERVICO                   10      79234 39596754 227699
-  CIRURGIAO_PRINCIPAL 172    2236154 41753674 229067
-  GRUPO_PROC                77   51418147 90935667 254080

```

**Figura 4.8** – Output obtido com a realização da regressão *Backward Stepwise*. Variáveis significativas obtidas para a estimação do tempo total do doente em sala de operação.

Como se pode verificar nas Figuras 4.7 e 4.8, os modelos obtidos pelas duas vias *Stepwise* obtêm as mesmas variáveis significativas (“Cirurgião principal”, “Serviço” e “Grupo de códigos de procedimento”) e apresentam o mesmo valor AIC, neste caso AIC=227655.3.

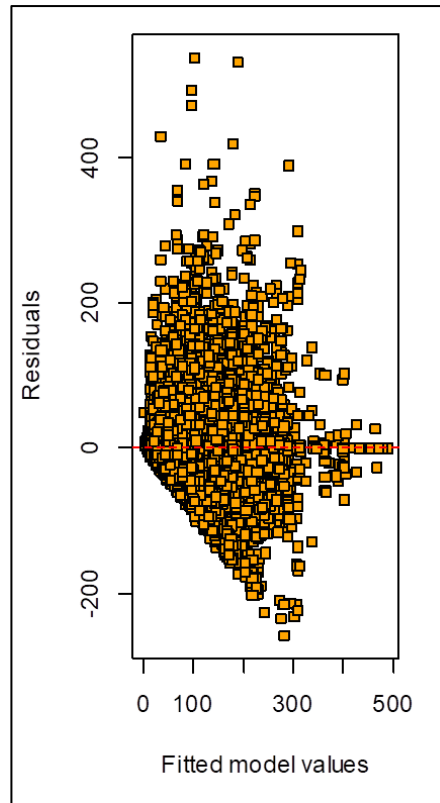
Tal como já anteriormente referido, é ainda necessário verificar se as suposições do erro de um modelo de regressão linear estão presentes. Deste modo, são realizadas as mesmas representações gráficas que no caso anterior (estimação dos tempos cirúrgicos), para a verificação da homocedasticidade (Figura 4.9) e da normalidade (Figura 4.10), e realizado o mesmo teste de Durbin-Watson para a verificação da independência dos erros (Figura 4.11).

As conclusões retiradas da análise dos gráficos das Figuras 4.9 e 4.10 e do teste da Figura 4.11 são exactamente as mesmas das retiradas das Figuras 4.3 – 4.5, ou seja, é violada a suposição da normalidade do erro, pelo que é necessário realizar uma transformação *Box-Cox* através do auxílio de uma representação gráfica (Figura 4.12).

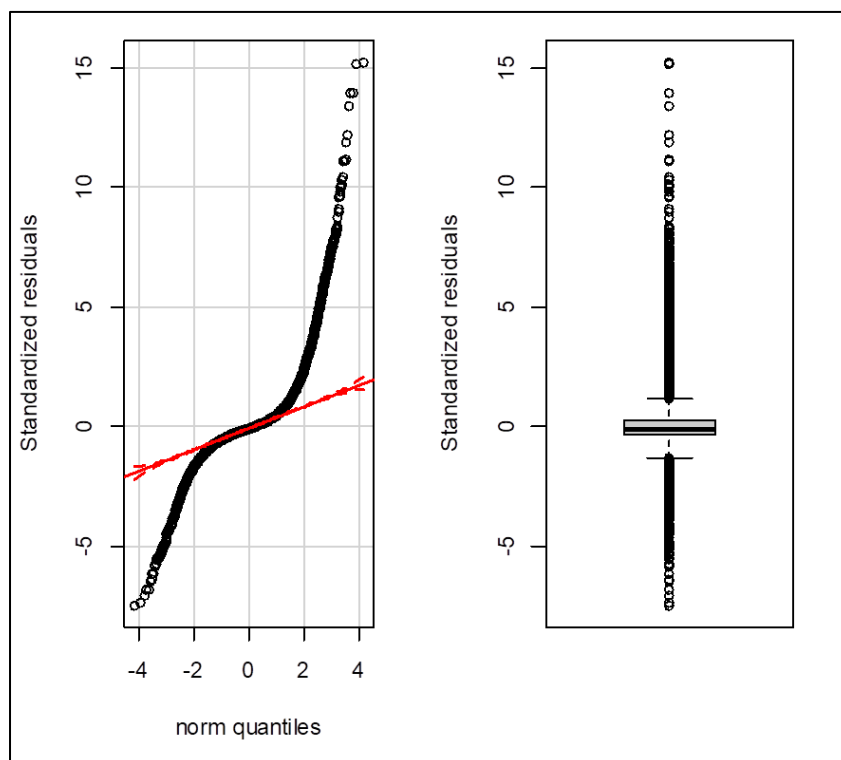
A informação que se retira do gráfico da Figura 4.12 é exactamente a mesma da que se retira do gráfico da Figura 4.6. Assim, a transformação a ser feita deve considerar o logaritmo do tempo total do doente em sala de operação como variável dependente do modelo.

Uma vez realizadas, novamente, as regressões *Stepwise*, obtêm-se as mesmas variáveis explicativas significativas para a estimação desta nova variável dependente: “Cirurgião principal”, “Serviço” e “Grupo de códigos de procedimento”. O valor AIC obtido em ambas as regressões é de -50890.17.

Mais uma vez, com recurso ao comando *summary* do *software R* e através da análise dos *p-values* associados à estimação dos parâmetros do modelo da estimação do logaritmo dos tempos totais dos pacientes em sala de operação ( $\log(\text{TTDS})$ ), são obtidas as estimativas destes parâmetros.



**Figura 4.9** – Representação gráfica para a verificação da homocedasticidade do erro presente no modelo de estimação do tempo total do doente em sala de operação.



**Figura 4.10** – Representações gráficas, *qqPlot* e *boxplot*, para a verificação da normalidade do erro presente no modelo de estimação do tempo total do doente em sala de operação.



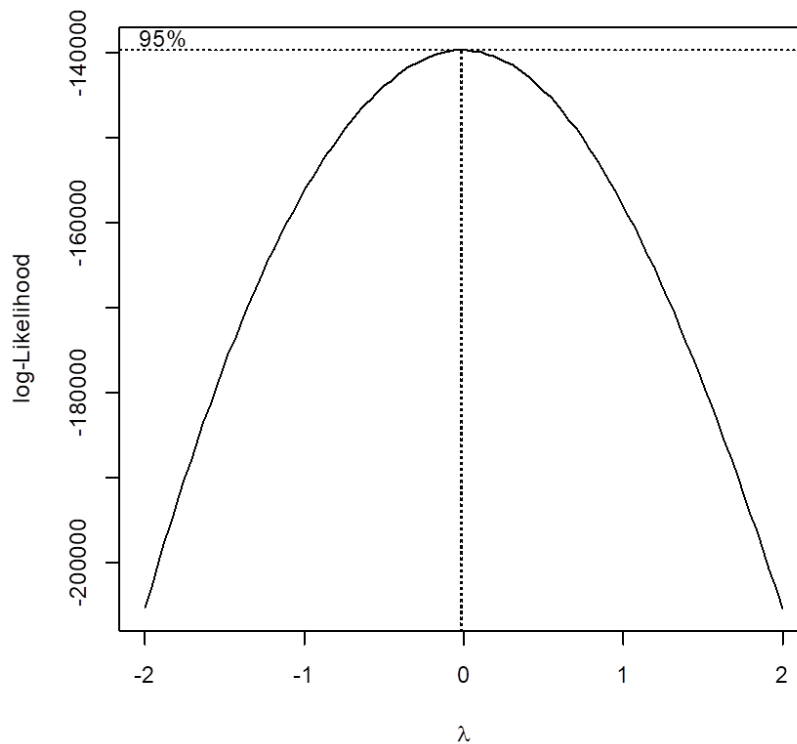
Durbin-Watson test

data: modelo

DW = 1.8796, p-value = 0.5

alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

**Figura 4.11** – *Output* obtido com a realização do teste de Durbin-Watson aos erros do modelo de estimação do tempo total do doente em sala de operação.



**Figura 4.12** – Auxílio gráfico para a determinação do valor de  $\lambda$  na transformação *Box-Cox*.

A interpretação retirada dos resultados conseguidos é a seguinte:

- I. A associação de uma cirurgia a qualquer um dos grupos de códigos de procedimento leva ao aumento do valor de  $\log(\text{TTDS})$  e, ao mesmo tempo, da própria duração total do paciente em sala de operação, relativamente ao valor que diz respeito à estimativa do parâmetro independente do modelo;
- II. A presença de um dado cirurgião na realização de uma cirurgia pode provocar um aumento, diminuição, ou mesmo não influenciar em nada (a sua maioria) a duração total do paciente afecto a essa cirurgia na sala de operação;
- III. A maioria dos serviços afectos às cirurgias provoca uma diminuição nas durações totais dos pacientes afectos a estas na sala de operação, relativamente ao valor da estimativa do parâmetro independente do modelo, com excepção de alguns serviços que não influenciam em nada esta duração.

### 4.3 Comparação das estimativas obtidas pelo modelo de regressão com as obtidas pelo estudo base

Após a obtenção dos modelos adequados para cada caso de estimação (duração cirúrgica e tempo total em sala de operação) e respectivas estimativas dos valores dos seus parâmetros (no seguimento de cada tipo de agrupamento dos códigos de procedimento), procede-se à obtenção das estimativas dos tempos cirúrgicos e tempos totais dos pacientes em sala de operação, através do modelo em estudo, para cada cirurgia já realizada pelo hospital, de modo a comparar estes valores com os efectivamente registados aquando da realização destas cirurgias.

Para comparar estes resultados com os obtidos pelo estudo base [2], face aos valores efectivamente incorridos para cada cirurgia já realizada, são calculadas, para cada uma de quatro instâncias (cirurgias realizadas em cada uma de quatro semanas diferenciadas no horizonte temporal), duas medidas de “avaliação”, nomeadamente: (1) a média das diferenças absolutas entre cada tipo de estimativa obtida (com o modelo de regressão ou o estudo base) e as durações reais observadas e (2) o desvio padrão destas diferenças absolutas. Estas duas medidas são calculadas para cada tipo de duração estimada (cirúrgica ou total).

Os resultados destes cálculos são apresentados nas Tabelas 4.5 – 4.10, onde os valores de cada tabela variam de acordo com as estimativas obtidas pelo método de regressão deste estudo, tendo em conta cada um dos diferentes tipos de agrupamento de códigos de procedimento em que se baseia o modelo.

**Tabela 4.5** – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.A.

		S1_04.11.13		S2_06.01.14		S3_05.01.15		S4_02.03.15	
		Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo
Tempo em cirurgia	Média	- 1.26	- 5.22	- 1.20	- 6.07	- 7.83	- 13.25	- 3.87	- 5.89
	Desvio Padrão	26.10	34.17	29.32	31.56	37.13	43.16	26.32	31.52
Tempo total	Média	- 1.47	0.37	- 1.58	- 0.57	- 10.51	- 9.53	- 6.78	- 1.51
	Desvio Padrão	34.57	46.87	36.96	39.38	42.16	55.18	36.03	44.74

**Tabela 4.6** – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.B.

		S1_04.11.13		S2_06.01.14		S3_05.01.15		S4_02.03.15	
		Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo
<b>Tempo em cirurgia</b>	Média	- 1.26	- 3.25	- 1.20	- 5.81	- 7.83	- 12.80	- 3.87	- 5.84
	Desvio Padrão	26.10	34.00	29.32	30.04	37.13	36.20	26.32	28.83
<b>Tempo total</b>	Média	- 1.47	2.44	- 1.58	- 0.43	- 10.51	- 7.24	- 6.78	- 1.12
	Desvio Padrão	34.57	44.20	36.96	38.15	42.16	43.43	36.03	41.38

**Tabela 4.7** – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.C.

		S1_04.11.13		S2_06.01.14		S3_05.01.15		S4_02.03.15	
		Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo
<b>Tempo em cirurgia</b>	Média	- 1.26	- 0.25	- 1.20	-2.76	- 7.83	-3.53	- 3.87	0.17
	Desvio Padrão	26.10	39.08	29.32	34.73	37.13	42.45	26.32	39.22
<b>Tempo total</b>	Média	- 1.47	- 0.85	- 1.58	-3.00	- 10.51	-9.68	- 6.78	-3.72
	Desvio Padrão	34.57	43.36	36.96	36.96	42.16	42.68	36.03	41.21

**Tabela 4.8** – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 1.D.

		S1_04.11.13		S2_06.01.14		S3_05.01.15		S4_02.03.15	
		Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo
<b>Tempo em cirurgia</b>	Média	-1.26	2.25	-1.20	-0.63	-7.83	-0.36	-3.87	1.32
	Desvio Padrão	26.10	40.12	29.32	36.26	37.13	44.63	26.32	39.80
<b>Tempo total</b>	Média	-1.47	5.84	-1.58	3.18	-10.51	-3.07	-6.78	0.73
	Desvio Padrão	34.57	44.73	36.96	41.65	42.16	46.70	36.03	43.79

**Tabela 4.9** – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 2.

		S1_04.11.13		S2_06.01.14		S3_05.01.15		S4_02.03.15	
		Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo
<b>Tempo em cirurgia</b>	Média	- 1.26	- 0.28	- 1.20	- 1.96	- 7.83	-5.62	- 3.87	- 1.35
	Desvio Padrão	26.10	37.36	29.32	31.93	37.13	39.27	26.32	36.92
<b>Tempo total</b>	Média	- 1.47	-5.24	- 1.58	-5.58	- 10.51	- 10.85	- 6.78	- 8.99
	Desvio Padrão	34.57	41.53	36.96	38.60	42.16	43.49	36.03	40.03

**Tabela 4.10** – Média e desvio padrão das diferenças absolutas entre as estimativas apontadas por cada um dos métodos seguidos e os tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, em cada instância, no seguimento do processo de agrupamento 3.

		S1_04.11.13		S2_06.01.14		S3_05.01.15		S4_02.03.15	
		Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo	Método do estudo base	Método em estudo
<b>Tempo em cirurgia</b>	Média	-1.26	-0.37	-1.20	-2.46	-7.83	-4.57	-3.87	-1.34
	Desvio Padrão	26.10	38.77	29.32	33.31	37.13	41.90	26.32	38.88
<b>Tempo total</b>	Média	-1.47	5.69	-1.58	3.07	-10.51	-2.80	-6.78	0.67
	Desvio Padrão	34.57	44.73	36.96	41.59	42.16	47.75	36.03	44.43

De acordo com o exposto nas Tabelas 4.5 – 4.10, é possível verificar-se que os melhores resultados, comparando os valores obtidos através do método em estudo com as estimativas obtidas pelo estudo base, face aos tempos efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas, estão presentes nas Tabelas 4.6 e 4.7. Nestas, são apresentados os desvios padrões e as médias das diferenças absolutas entre as estimativas obtidas pelo modelo de regressão (para as durações cirúrgicas e tempos totais dos doentes em sala de operação), no seguimento do tipo de agrupamento de códigos de procedimento 1.B e 1.C respectivamente, e os tempos correspondentes efectivamente ocorridos para as cirurgias realizadas.

As duas Tabelas, apesar de não apresentarem valores assim tão semelhantes entre si, no que respeita aos resultados obtidos com o método em estudo, contrabalançam-se nos valores obtidos para as médias e desvios padrões já referidos, no sentido em que, em vários casos, quando a média assinalada numa dada instância e tipo de duração é inferior numa Tabela, o desvio padrão associado é superior e vice-versa. Mais ainda, calculando o valor médio dos desvios padrões e médias obtidas, em todas as instâncias (para cada tipo de duração estimada), com o método em estudo, verifica-se novamente este contrabalancear de valores entre tabelas.

Deste modo, para se proceder à realização do plano cirúrgico e sua respectiva análise de robustez, seleciona-se, dentro destes dois processos de agrupamento de códigos de procedimento, o que, seguido da aplicação do método estatístico, conduz aos melhores resultados para as estimativas apontadas pelo presente estudo. Este processo de agrupamento é o 1.C (Tabela 4.7), por três razões: (1) Tem um maior número de médias de valor inferior às obtidas através do método do estudo base (apenas não acontece na segunda instância, mas os valores estão relativamente próximos); (2) Tem o mesmo número de desvios padrões de valor igual ou inferior aos conseguidos pelo outro método; (3) Tem sempre alguma vantagem ou igualdade, face ao método do estudo base, em todas as instâncias analisadas, quer em termos de médias e/ou desvios padrões, no caso dos tempos cirúrgicos e/ou dos tempos totais em sala de operação, o que não acontece no caso da Tabela 4.6.

É de referir ainda que a consideração dos tempos cirúrgicos como base de agregação de códigos de procedimento (Tabela 4.9) resulta num melhoramento das estimativas apontadas para estes tempos face aos resultados obtidos para os tempos totais dos pacientes em sala de operação. Na Tabela 4.9, onde se expõe este caso, é possível verificar que as únicas vezes em que as estimativas apontadas pelo método em estudo são melhores do que as do estudo base são no caso da consideração dos tempos cirúrgicos.

Por fim, é de notar também que a consideração inicial dos desvios padrões dos tempos totais dos pacientes em sala de operação, no processo de agrupamento dos códigos de procedimento, não se traduz, necessariamente, num melhoramento dos desvios padrões das diferenças absolutas entre as estimativas e os tempos reais, como é possível verificar-se na Tabela 4.10.

## **4.4 Análise de robustez do plano cirúrgico**

Uma vez obtido o processo de agrupamento dos códigos de procedimento que permite a obtenção das melhores estimativas possíveis, de entre os testes realizados, prossegue-se a análise de robustez do plano cirúrgico obtido com a introdução destas estimativas (cirúrgicas e de tempo total do doente em sala de operação) nas heurísticas desenvolvidas por Mateus et al. [2].

É de assinalar que, por motivos programacionais e de software, não foi possível obter planos cirúrgicos conjuntos para as especialidades C3b e C3c, para a Versão Mista, nas instâncias 1, 2 e 4. Será necessário rever, portanto, a programação das heurísticas de modo a poder obter-se planos cirúrgicos de forma isolada para cada uma destas especialidades. Assim sendo, os resultados a que se reporta o presente estudo, no que respeita aos planos cirúrgicos da Versão Mista nas instâncias 1, 2 e 4, são sempre apresentados sem consideração das especialidades C3b e C3c.

Para que se possa ter um termo de comparação dos planos cirúrgicos obtidos através do presente estudo com os planos cirúrgicos obtidos pelo método do estudo base [2] e pelo hospital, é apresentado, na Tabela 4.11, o número total de cirurgias marcadas pelo hospital e por cada um dos métodos referidos, com e sem a consideração das especialidades C3b e C3c, em cada uma das Versões e instâncias.

Tal como é possível verificar-se na Tabela 4.11, qualquer Versão, dentro de qualquer estudo (base ou presente), obtém um plano cirúrgico com maior número de cirurgias marcadas do que o obtido pelo hospital, tanto nos casos em que se consideram todas as especialidades como naqueles em que se retiram as C3b e C3c da análise.

Olhando só para os planos cirúrgicos obtidos através dos dois tipos de estudos, é de salientar que, considerando o caso sem a inclusão das especialidades C3b e C3c, o presente estudo obtém sempre um maior número de cirurgias marcadas do que o estudo base, qualquer que seja a instância e versão considerada.

**Tabela 4.11** - Número total de cirurgias marcadas em cada instância, com e sem a consideração das especialidades C3b e C3c, pelo hospital e por cada versão dos estudos desenvolvidos.

Número de Cirurgias Marcadas			Instância 1	Instância 2	Instância 3	Instância 4
Todas as especialidades	Estudo Base	VA	406	381	299	398
		VC	640	615	427	538
		VM	542	518	306	442
	Presente Estudo	VA	438	426	322	460
		VC	580	734	470	490
		VM	-	-	350	-
	Hospital		286	333	145	211
Sem as especialidades C3b e C3c	Estudo Base	VA	301	280	211	241
		VC	433	417	323	342
		VM	378	359	218	263
	Presente Estudo	VA	320	313	221	268
		VC	459	611	332	352
		VM	418	422	249	276
	Hospital		188	222	130	138

Com a inclusão de todas as especialidades no planeamento cirúrgico, a mesma conclusão pode ser retirada no caso da Versão Administração, mas o mesmo não é válido para a Versão Cirurgiões, uma vez que as instâncias 1 e 4 apresentam um maior número de cirurgias marcadas pelo estudo base do que pelo presente estudo e as instâncias 2 e 3 o inverso.

É de referir também que, para ambos os estudos e para todas as instâncias, o número de cirurgias marcadas pela Versão Cirurgiões é maior do que o número de cirurgias na Versão Mista, que por sua vez é maior do que no caso da Versão Administração.

Para além da comparação do número de cirurgias marcadas pelo presente estudo com o estudo base e hospital, interessa saber quantas destas cirurgias se encontram presentes no registo do hospital relativamente às cirurgias realizadas nas respectivas instâncias.

Deste modo, é apresentado na Tabela 4.12 o número de cirurgias marcadas pelo presente estudo, em cada uma das Versões e instâncias, o número de cirurgias em comum com o registo do hospital na respectiva instância e a percentagem destas face ao total de cirurgias agendadas.

**Tabela 4.12** - Número de cirurgias marcadas em cada Versão e instância, número de cirurgias em comum com o registo do hospital e respectiva percentagem.

Nº de cirurgias	Instância 1			Instância 2			Instância 3			Instância 4		
	VA	VC	VM	VA	VC	VM	VA	VC	VM	VA	VC	VM
<b>Marcadas</b>	438	580	418	426	734	422	322	470	350	460	490	276
<b>Comum com as cirurgias realizadas pelo hospital</b>	16	71	31	22	74	33	6	14	6	10	31	10
<b>% Comum</b>	3.7	12.2	7.4	5.2	10.1	7.8	1.9	3.0	1.7	2.2	6.3	3.6

Tal como se pode verificar pela Tabela 4.12, a Versão Cirurgiões é sempre a que tem mais cirurgias em comum com as realizadas pelo hospital, o que reflete a intenção do modelo construído para esta versão ao tentar aproximar-se do método de como as cirurgias são agendadas no hospital, ou seja, por ordem inversa à entrada na lista de espera.

Para além disto, norma geral, a Versão Mista é a segunda versão que mais cirurgias em comum tem com o registo do hospital, uma vez que é um intermédio entre a Versão Cirurgiões e a Versão Administração.

É importante voltar a salientar os casos da Versão Mista nas instâncias 1, 2 e 4, cujos resultados não contemplam as especialidades C3b e C3c.

Comparando os tempos agendados no presente estudo com o tempo real registado no hospital, é possível verificar-se se os tempos são subestimados, levando ao excesso de marcação de cirurgias que depois terão de ser canceladas, ou superestimados, provocando a ineficiência do uso do bloco operatório, uma vez que não se dá pleno uso das suas capacidades.

Deste modo, na Tabela 4.13 é apresentado, dentro das cirurgias em comum com todo o registo do hospital, o número das que apresentam maior, menor e igual duração estimada no presente estudo relativamente à real verificada. A referida Tabela confronta os valores obtidos com o método do estudo base e do presente estudo para estas mesmas cirurgias, relativamente à percentagem média de alteração de tempos estimados face aos reais (tempos cirúrgicos (TC) e totais dos pacientes em sala de operação (TTDS)).

**Tabela 4.13** – Número de cirurgias com duração estimada maior, menor ou igual à real, tanto nos casos TC como TTDS, de acordo com o presente método de estimação, e percentagem de alteração média dos tempos estimados pelo estudo base (% Alt base) e estudo presente (% Alt) face aos tempos reais.

	Duração Estimada	Instância 1			Instância 2			Instância 3			Instância 4		
		VA	VC	VM	VA	VC	VM	VA	VC	VM	VA	VC	VM
TC	<b>Maior</b>	77	158	95	86	213	110	20	44	22	36	63	21
	<b>Menor</b>	93	259	135	78	314	126	32	71	43	38	83	32
	<b>Igual</b>	2	2	2	0	0	0	1	3	0	2	5	3
	<b>% Alt</b>	-11.4	-16.4	-17.1	-4.2	-11.1	4.5	-40.0	-42.3	-45.8	-30.7	-32.7	-32.3
	<b>% Alt base</b>	-16.0	-4.4	-15.9	-7.8	11.2	5.3	-44.6	-30.4	-46.1	-35.7	-32.7	-40.9
TTDS	<b>Maior</b>	81	231	115	88	278	128	23	54	26	38	70	26
	<b>Menor</b>	91	188	117	76	249	108	30	62	39	37	75	30
	<b>Igual</b>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	6	0
	<b>% Alt</b>	-11.7	-3.3	-10.7	-5.6	-0.5	1.5	-39.8	-14.7	-41.7	-26.9	-22.6	-27.3
	<b>% Alt base</b>	-12.9	-0.8	-9.5	-8.5	7.4	2.0	-42.5	-13.6	-42.5	-29.7	-23.0	-33.1

De acordo com a Tabela 4.13, a estimativa dos tempos totais dos doentes em sala de operação é muito mais aproximada do valor realmente verificado pelo hospital, em qualquer um dos métodos de estimação, do que a dos tempos de cirurgia. Tal faz sentido no caso do presente estudo, uma vez que o processo de agrupamento dos códigos de procedimento se baseia no tempo total do paciente em sala de operação e não no tempo de cirurgia.

Através da Tabela 4.13, verificam-se casos em que o presente estudo apresenta melhores resultados para as estimativas dos tempos hospitalares do que o método abordado por Mateus et al [2] e outros casos em que se verifica o inverso, no plano cirúrgico obtido nesta dissertação. No entanto, são mais frequentes os primeiros casos do que os segundos. Tal se reflete nas percentagens de alteração mais próximas de 0, em valor absoluto.

É de salientar que a grande maioria das percentagens de alteração, dos tempos estimados face aos tempos reais, é negativa, o que significa que os tempos cirúrgicos e tempos totais dos pacientes em sala

de operação são subestimados e, quando postos em prática os procedimentos cirúrgicos correspondentes, estes demoram mais do que o previsto. Tal situação é ainda mais vincada nas duas últimas instâncias, o que se pode ficar a dever ao facto de, nestes casos, não haverem tantas cirurgias em comum com o registo do hospital que permitam ter uma análise mais geral do plano cirúrgico.

Esta subestimação é, norma geral, maior no caso dos tempos cirúrgicos, onde a alteração dos tempos estimados face aos tempos reais chega a atingir valores na ordem dos 30 e 40%. Apesar disto, quando contabilizado todo o tempo que um paciente permanece em sala de operação, esta diferença já não é tão grande.

Existem apenas 3 casos, quer para os tempos cirúrgicos quer para os tempos totais em sala de operação, em que a percentagem de alteração dos tempos estimados face aos reais é positiva, ou seja, em que os tempos estimados são maiores do que os realmente verificados (não sendo estas alterações significativas), pelo que o plano cirúrgico obtido é, essencialmente, um plano subestimado, levando à probabilidade de cancelamento de alguns procedimentos cirúrgicos agendados.

## 4.5 Consideração de uma família de distribuições

Dada a necessidade de segmentação dos dados, referida no capítulo anterior – Metodologia, para o correcto ajustamento de uma distribuição Log-Normal aos dados existentes, são apresentadas, nas Tabelas 4.14 e 4.15, as correlações existentes entre as durações das cirurgias (TC), bem como os tempos totais dos pacientes em sala de operação (TTDS), e as suas possíveis variáveis explicativas.

**Tabela 4.14** - Correlação existente entre os tempos cirúrgicos (TC) e as suas possíveis variáveis explicativas.

<b>Cirurgião principal</b>	<b>Serviço</b>	<b>Grupo de códigos de procedimento</b>
0.048	0.021	0.768

**Tabela 4.15** - Correlação existente entre os tempos totais dos pacientes em sala de operação (TTDS) e as suas possíveis variáveis explicativas.

<b>Cirurgião principal</b>	<b>Serviço</b>	<b>Grupo de códigos de procedimento</b>
0.061	0.031	0.798

Através das Tabelas 4.14 e 4.15 é possível concluir-se que apenas uma variável tem uma elevada correlação com qualquer uma das variáveis dependentes, TC e TTDS, que é “Grupo de códigos de procedimento”, sendo esta a variável de segmentação dos dados em ambos os casos de estimação, com a finalidade de obter uma distribuição Log-Normal para os tempos cirúrgicos e tempos totais dos pacientes em sala de operação, em cada segmento.

Uma vez obtida a variável de segmentação, e dado que o  $\log(TC)$  e  $\log(TTDS)$  possuem uma distribuição Normal de parâmetros  $\mu$  e  $\sigma^2$ , procede-se à estimação dos valores destes parâmetros através dos seus estimadores de máxima verosimilhança (média e variância amostral, respectivamente), para cada segmento de dados, ou seja, cada grupo de códigos de procedimento. Obtendo estes valores, já será possível apontar para as respectivas estimativas no caso da distribuição Log-Normal.



Tal como referido na secção 3.3, é possível existirem segmentos de dados compostos apenas por uma cirurgia registada no hospital pelo que, nestes casos, não é possível ajustar uma distribuição Log-Normal aos dados históricos, uma vez que a variância e, consequentemente o desvio padrão, associados são nulos.



## 5. Conclusões

---

O objectivo desta dissertação focava-se na obtenção de boas estimativas para os tempos cirúrgicos e tempos totais dos pacientes em sala de operação, para cirurgias do hospital em estudo. Idealmente, melhores estimativas do que as obtidas por Mateus et al. [2], dado que aí apenas eram consideradas as respectivas médias destes tempos dentro de cada código de procedimento cirúrgico.

Para esse fim, foi então considerada a realização de uma regressão linear através das variáveis disponíveis na lista de espera do hospital que, segundo uma regressão *Stepwise*, foram consideradas significativas para a estimação dos tempos cirúrgicos e totais. Pretendia-se estimar os tempos das cirurgias desta lista, aquando o agendamento do plano cirúrgico a realizar.

Uma vez que uma das possíveis variáveis explicativas destes tempos, presente na tal lista de espera, era o código de procedimento das respectivas cirurgias, e dado que estes códigos se encontravam em número bastante elevado e dissemelhantes entre si no que respeita a durações das cirurgias correspondentes, foram realizados diversos agrupamentos destes códigos que deram origem a uma nova variável explicativa do modelo a ter em consideração. Esta variável dizia respeito aos grupos de códigos de procedimento.

Foram realizados seis tipos de agrupamentos destes códigos, originando, cada um deles, diferentes tipos de categorias desta tal nova variável explicativa. Em cada um dos casos, seguiu-se a regressão do modelo referida. Após a obtenção das estimativas de cada um destes modelos, foi selecionado aquele que melhor se ajustava aos tempos reais verificados no hospital.

Inserindo estas estimativas nas heurísticas desenvolvidas no estudo base, obteve-se um plano cirúrgico para quatro instâncias diferentes. Para estes planos, foi feita uma comparação dos tempos estimados nesta dissertação com os tempos que foram estimados por Mateus et al. [2], face aos tempos reais registados no hospital, concluindo-se que, na maior parte dos casos (versões e/ou instâncias), as estimativas obtidas pelo presente método estão mais próximas do real verificado. No entanto, ainda existem alguns casos em que se verifica o inverso.

De uma maneira geral, o plano cirúrgico obtido foi subestimado, uma vez que, substituindo as estimativas dos tempos hospitalares pelos valores reais observados, os primeiros são, em média, inferiores, existindo ainda um ou outro caso com uma alteração média relativamente significativa. Tal pode provocar atrasos e/ou cancelamentos de cirurgias agendadas, sendo um inconveniente para o hospital e pacientes em questão.

Para além disto, como complemento destas estimativas dos tempos cirúrgicos e totais dos pacientes em sala de operação, foi também considerada uma distribuição Log-Normal para estes tempos, uma vez que esta é a distribuição recorrentemente utilizada para tal na literatura.

Deste modo, os dados foram segmentados pelos grupos de códigos de procedimento (obtidos pelo método de agrupamento considerado no modelo de regressão que obteve as melhores estimativas) para que se pudesse ajustar uma função distribuição Log-Normal a cada um desses segmentos. Foram também realizados os cálculos para a obtenção das estimativas dos parâmetros, levando à possibilidade de ajustamento da distribuição em cada grupo de códigos de procedimento.

Apesar do plano cirúrgico obtido nesta dissertação obter bons resultados em diversos casos (versões e/ou instâncias), tanto ao nível de cirurgias marcadas como de estimativas para os tempos cirúrgicos e totais, torna-se necessário aprofundar ainda mais o estudo da obtenção de boas estimativas para estes tempos, de modo a que estas sejam ainda mais próximas da realidade e o plano cirúrgico a realizar seja o mais robusto possível.

Para tal, há diversas questões que podem ser tidas em conta. Uma delas prende-se com o processo de agrupamento dos códigos de procedimento das cirurgias. De facto, neste estudo, um número bastante considerável de grupos de códigos de procedimento continha menos do que uma dezena de casos registados no hospital, tornando o processo de estimação algo limitado. Deste modo, um dos caminhos a percorrer será o estudo de um melhor processo de agrupamento destes códigos.

Outra questão a ter em conta é a consideração de mais variáveis no modelo de regressão linear. Para isso, estas variáveis precisam de estar registadas na lista de espera do hospital, para que os seus valores sejam considerados na regressão. Vários autores consideram, por exemplo, a idade do paciente, tipo de anestesia e classificação do estado físico do paciente, como factores que têm impacto nos tempos cirúrgicos, pelo que deveria também ser incluída, na lista de espera, informação sobre estas variáveis, para que estas possam ser incluídas no modelo estudado para este hospital.

Como última orientação para futuros estudos, poder-se-á também ter em conta as expectativas dos cirurgiões para as durações dos procedimentos cirúrgicos no hospital em estudo. De facto, vários são também os autores que consideram as estimativas dos cirurgiões bastante precisas, pelo que é de ponderar a hipótese de combinação de métodos estatísticos com a informação fornecida por estes cirurgiões.

# Referências bibliográficas

---

1. Mateus C., “Heurísticas para a marcação de Cirurgias Eletivas num Hospital Público”, Dissertação de Mestrado em Estatística e Investigação Operacional, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2016.
2. Mateus C., Marques I., Captivo M., “Local search heuristics for a surgical case assignment problem”, *Operations Research for Health Care*, 2017.
3. Strum D., May J., Vargas L., “Modeling the Uncertainty of Surgical Procedure Times: Comparison of Log-normal and Normal Models”, *Anesthesiology*, vol.92, pp. 1160-1167, 2000.
4. May J., Strum D., Vargas L., “Fitting the Lognormal Distribution to Surgical Procedure Times”, *Decision Sciences*, vol. 31, pp. 129-148, 2000.
5. Stepaniak P., Heij C., Mannaerts G., Quelerij M., Vries G., “Modeling Procedure and Surgical Times for Current Procedural Terminology-Anesthesia-Surgeon Combinations and Evaluation in Terms of Case-Duration Prediction and Operating Room Efficiency: A Multicenter Study”, *Anesthesia & Analgesia*, vol. 109, pp. 1232-1245, 2009.
6. Strum D., May J., Sampson A., Vargas L., Spangler W., “Estimating Times of Surgeries with Two Component Procedures: Comparison of the Lognormal and Normal Models”, *Anesthesiology*, vol. 98, pp. 232-240, 2003.
7. Joustra P., Meester R., Ophem H., “Can statisticians beat surgeons at the planning of operations?”, *Empirical Economics*, vol. 44, pp. 1697–1718, 2013.
8. Luangkesorn K.L., Eren-Doğu Z.F., “Markov Chain Monte Carlo methods for estimating surgery duration”, *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 86, pp. 262-278, 2016.
9. Hosseini N., Sir M.Y., Jankowski C.J., Pasupathy K.S., “Surgical Duration Estimation via Data Mining and Predictive Modeling: A Case Study”, *AMIA Annual Symposium Proceedings Archive*, vol. 2015, pp. 640–648, 2015.
10. Shukla R., Ketcham J., Ozcan YA, “Comparison of subjective versus data base approaches for improving efficiency of operating room scheduling”, *Health Services Management Research*, vol. 3, pp. 74-81, 1990.
11. Kayis E., Wang H., Patel M., Gonzalez T., Jain S., Ramamurthi R., Santos C., Singhal S., Suermondt J., Sylvester K., “Improving Prediction of Surgery Duration using Operational and Temporal Factors”, *AMIA Annual Symposium Proceedings Archive*, vol. 2012, pp. 456–462, 2012.
12. Strum D., Sampson A., May J., Vargas L., “Surgeon and Type of Anesthesia Predict Variability in Surgical Procedure Times”, *Anesthesiology*, vol. 92, pp. 1454-1466, 2000.
13. Edelman E., Kuijk S., Hamaekers A., Korte M., Merode G., Buhre W., “Improving the Prediction of Total Surgical Procedure Time Using Linear Regression Modeling”, *frontiers in Medicine*, vol. 4, pp. 85, 2017.
14. Burgette L., Mulcahy A., Mehrotra A., Ruder T., Wynn B., “Estimating Surgical Procedure Times Using Anesthesia Billing Data and Operating Room Records”, *Health Services Research*, vol. 52, pp. 74-92, 2017.

15. Eijk R., Veen-Berkx E., Kazemier G., Eijkemans M., "Effect of Individual Surgeons and Anesthesiologists on Operating Room Time", *Anesthesia & Analgesia*, vol. 132, pp. 445-451, 2016.
16. Zhou J., Dexter F., "Method to Assist in the Scheduling of Add-on Surgical Cases-Upper Prediction Bounds for Surgical Case Durations Based on the Log-normal Distribution", *Anesthesiology*, vol. 89, pp. 1228-1232, 1998.
17. Dexter F., Ledolter J., "Bayesian Prediction Bounds and Comparisons of Operating Room Times Even for Procedures with Few or No Historic Data", *Anesthesiology*, vol. 103, pp. 1259-1267, 2005.
18. Dexter F., Traub RD, Lebowitz P., "Scheduling a delay between different surgeons' cases in the same operating room on the same day using upper prediction bounds for case durations", *Anesthesia & Analgesia*, vol. 92, pp. 943-946, 2001.
19. Macario A., Dexter F., "Estimating the Duration of a Case When the Surgeon Has Not Recently Scheduled the Procedure at the Surgical Suite", *Anesthesia & Analgesia*, vol.89, pp. 1241-1245, 1999.
20. Pandit J., Carey A., "Estimating the duration of common elective operations: implications for operating list management", *Anaesthesia*, vol. 61, pp. 768-776, 2006.
21. Dexter F., Macario A., "Applications of information systems to operating room scheduling", *Anesthesiology*, vol. 91, pp. 1501–1508, 1999.
22. Wu A., Brovman E., Whang E., Ehrenfeld J., Urman R., "The impact of overestimations of surgical control times across multiple specialties on medical systems", *Journal of Medical Systems*, vol. 40, pp. 95, 2016.
23. Dexter F., Ledolter J., Tiwari V., Epstein R., "Value of a Scheduled Duration Quantified in Terms of Equivalent Numbers of Historical Cases", *Anesthesia & Analgesia*, vol. 117, pp. 205-210, 2013.
24. Wright IH, Kooperberg C., Bonar BA, Bashein G., "Statistical modeling to predict elective surgery time. Comparison with a computer scheduling system and surgeon-provided estimates", *Anesthesiology*, vol. 85, pp. 1235-1245, 1996.